5/5
Audio-Hifi: bandspeelapparatuur

Inhoud

5/5.1

Spoelen- en kassette-spelers, opbouw en werking

Bandopname- en weergave-apparatuur moduleert de door een microfoon in elektrische spanningen omgezette geluidsgolven op een magnetische band en leest deze magnetische informatie op ieder gewenst ogenblik weer uit. Bij het opnemen en weergeven mag zo weinig mogelijk van de originele geluidskwaliteit verloren gaan. Deze zo natuurgetrouwe verwerking van het originele signaal wordt beïnvloed door een groot aantal factoren.

Het duitse normalisatie-instituut heeft een norm opgesteld (DIN 45500) waaraan deze verschillende factoren moeten voldoen. Vallen alle factoren binnen de norm, dan mag het betreffende apparaat met recht het predicaat "Hifi" dragen.

Tabel 5/5.1 geeft een overzicht van de eisen die in DIN 45500 worden gesteld.

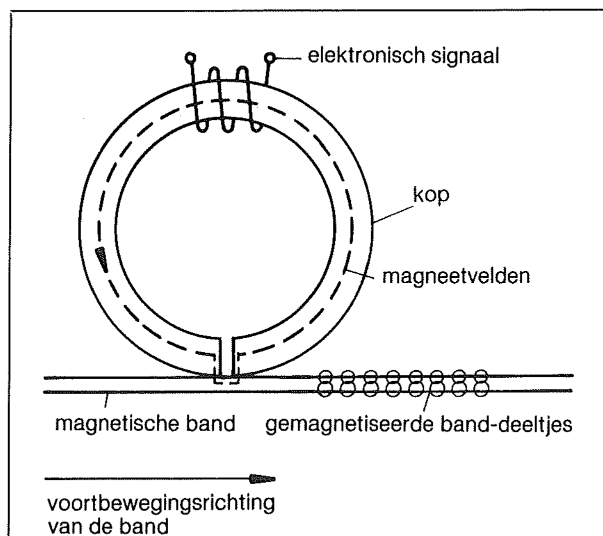
Eisen, volgens DIN 45500 aan bandopname-apparaten te stellen:		
maximale snelheids-variaties in een verloop van 30 seconden	max.	+/− 1,5%
kortstondige snelheids-variaties	max.	+/− 0,2%
weergave-bereik	min.	40 Hz tot 12,5 kHz
vervormings-factor (R-3) bij volledige uitsturing met 333 Hz..........	max.	3%
signaal-ruis verhouding bij volledige uitsturing	min.	56 dB
variatie in maximale uitsturing tussen 10 kHz en 333 Hz..........	max.	15 dB
overspraak tussen de stereo-kanalen tussen 500 Hz en 6,3 kHz..........	max.	15 dB
restant van het opgenomen signaal na wissen	min.	60 dB

Tabel 5/5.1 -1: Door DIN-norm 45500 aan bandrecorders gestelde eisen.

5/5.1.1 Basis-principes

Het elektrische signaal, afkomstig van microfoon en voorversterker, wordt door een soort elektromagneet, de zogenoemde opname-kop, omgezet in een magnetisch veld. De kop is samengesteld uit een spoel die rondom een ringvormige kern is gewikkeld. De spanning die aan de spoel wordt aangelegd veroorzaakt een stroom, deze stroom wekt een magnetische flux op en de magnetische krachtlijnen van deze flux zullen zich voortplanten door de kern. Omdat het de bedoeling is dat deze magnetische krachtlijnen de band magnetiseren, brengt men in de ringvormige kern een zeer smalle luchtspleet aan.

5.1 Spoelen- en kassette-spelers, opbouw en werking



Figuur 5/5.1 -1: De principiële werking van het opnemen van een signaal op een magnetische band

Het magnetische veld verspreidt zich plaatselijk rondom de luchtspleet in de lucht en leidt men een magnetische band met een constante snelheid langs de luchtspleet, dan zal het magnetische veld in de lucht de band magnetiseren.

De sterkte van de band-magnetisatie is een maat voor de opgenomen geluidsintensiteit. De wisseling in magnetisatie over een bepaalde lengte van de band is een maat voor de frequentie van het opgenomen signaal. Hieruit kan men afleiden dat de maximale frequentie, die men op de band kan opnemen wordt bepaald door twee factoren: de bandsnelheid en de breedte van de luchtspleet. Neemt de frequentie van het signaal toe, dan zullen de toppen van de maximale positieve en negatieve magnetisatie steeds dichter bij elkaar komen te liggen. Bij een bepaalde frequentie liggen deze toppen zo dicht op elkaar, dat de band zich niet voldoende heeft verplaatst om beide toppen afzonderlijk op te nemen.

Er bestaat een grensfrequentie, waarbij een periode van het signaal nog als volledige periode op de band wordt opgenomen. Deze grens wordt bereikt als de band zich gedurende één periode minder dan twee maal de breedte van de luchtspleet heeft voortbewogen. Vandaar dat kwalitatief hoogwaardige apparaten zijn uitgerust met een zeer smalle luchtspleet en de bandsnelheid wordt opgevoerd tot 19 cm/sek. Professionele studio-apparaten werken zelfs met een bandsnelheid van 38 cm/sek!

Bij het afspelen van de band vindt het beschreven proces in omgekeerde richting plaats. De bespeelde band wordt langs de luchtspleet van de weergave-kop gevoerd. De magnetisatie van de band veroorzaakt een flux in de kern en deze is op zijn beurt verantwoordelijk voor het genereren van een spanning in de spoel, die ook nu rond de ringvormige kern van de kop is gewikkeld. Na versterking en filtering (aanpassen van de frequentiekarakteristiek aan de eigenschappen van de kop) staat het signaal ter beschikking voor verdere verwerking, zoals via een eindversterker naar een luidspreker.

Er bestaan twee principieel verschillende systemen van opnemen en weergeven. Bij het eerste principe worden de opname- en weergave-processen door middel van één kop uitgevoerd. Bij het tweede is het apparaat uitgerust met twee afzonderlijke koppen, een voor het opnemen en een voor het weergeven. Het eerste systeem treft men aan bij de meeste kassette-spelers en bij de goedkopere band-apparaten. Het tweede systeem is voorbehouden aan de zeer dure kassette-recorders en de meeste spoel-machines.

5.1 Spoelen- en kassette-spelers, opbouw en werking

Een bespeelde band moet ook nog eens ooit gewist kunnen worden. Vandaar een extra (of derde) kop, de zogenoemde wiskop. Deze wekt een zeer sterk magnetisch veld op, waarmee men de magnetische modulatie van de band kan te niet doen. Ook hier bestaan twee fundamenteel verschillende systemen. Bij het eerste systeem wordt de wiskop gevoed met een gelijkspanning. De kop wekt dus een constant magnetisch veld op en voert men een bespeelde band langs de luchtspleet van de wiskop, dan zullen alle magnetische deeltjes van de band in dezelfde richting worden gepolariseerd, waardoor de modulatie verdwijnt. Dit principe wordt bij apparatuur van de onderste prijsklasse toegepast. Bij het tweede systeem wordt aan de wiskop een hoogfrequente spanning aangeboden. De frequentie van dit signaal is constant en ligt ver boven het hoorbare gebied (tussen 30 en 100 kHz). De bespeelde band wordt nu met dit hoogfrequente signaal gemoduleerd, maar omdat de frequentie van het signaal boven de eerder genoemde kritische grensfrequentie ligt waarbij perioden nog als perioden worden geregistreerd, zal er geen zinvolle informatie op de band worden opgenomen. De bestaande modulatie is gewist en de magneetdeeltjes van de band zijn willekeurig gepolariseerd.

5/5.1.2 Blok-schema

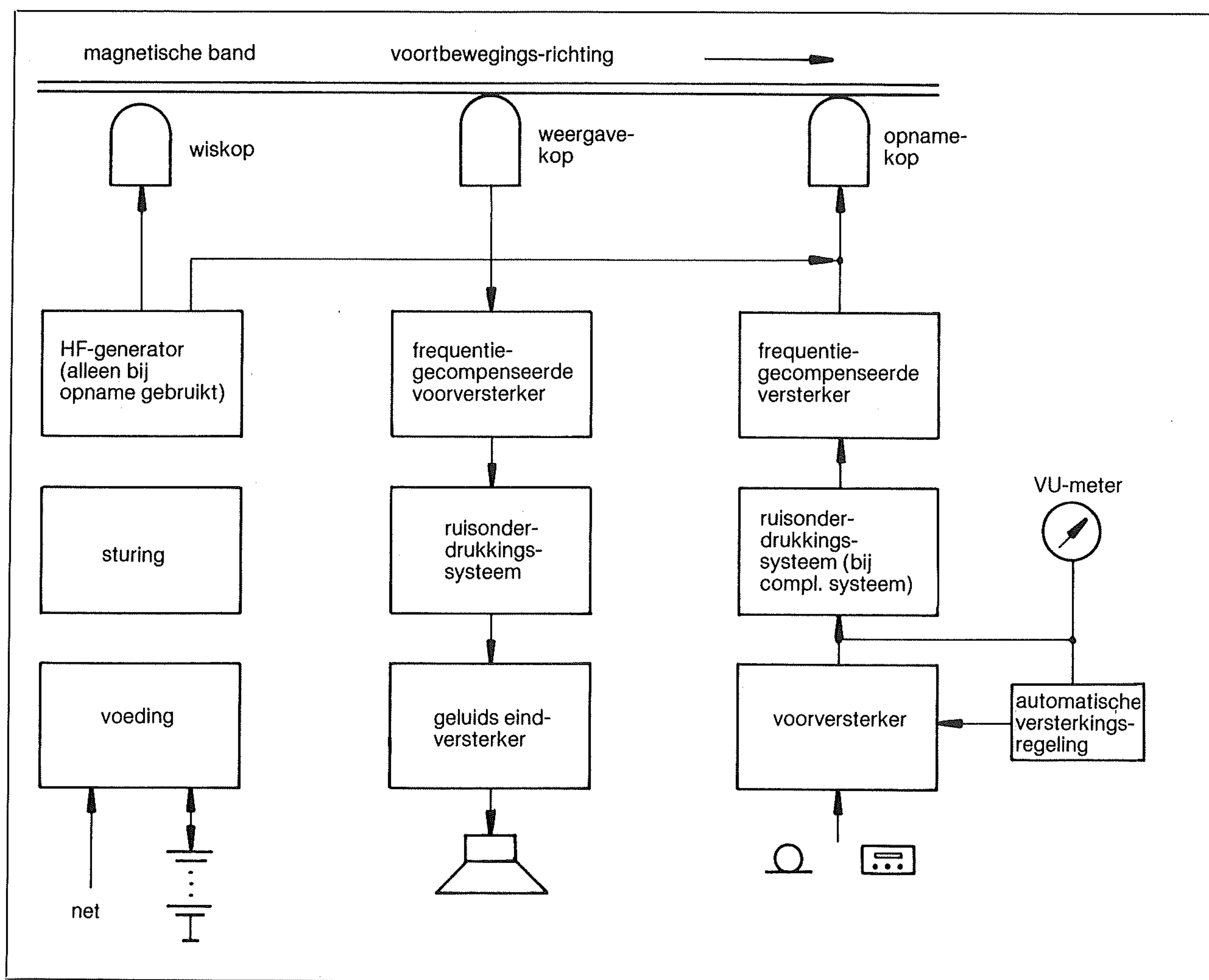
In feite kan men niet spreken van een standaard blokschema van geluidsregistratie-apparatuur. Zoals reeds gemeld bestaan er te veel verschillende systemen om deze allemaal in één blokschema te vangen. Toch zijn er een aantal functies die men in alle apparatuur aantreft en deze gemeenschappelijke schakelingen worden in deze paragraaf besproken.

Bij het opnemen van een signaal wordt de band eerst automatisch gewist. De band wordt dus eerst voorbij de luchtspleet van de wiskop gevoerd, wordt gemoduleerd door het sterke constante of hoogfrequente magneetveld en passeert eerst dan de spleet van de opname-kop.

Wist men hoogfrequent, dan is in het apparaat een hoogfrequent generator ingebouwd. Deze generator wekt de tussen 30 en 100 kHz gelegen wisfrequentie op en is meestal uitgevoerd als LC-oscillator. Nu kan het gebeuren dat er een vervelende fluittoon ontstaat, bijvoorbeeld bij het opnemen van AM-radio programma's of FM stereo-gemoduleerde signalen. Deze fluittonen zijn het gevolg van mengprocessen tussen harmonischen van de wisfrequentie en restanten van de draaggolf van de amplitude-modulatie of stereo-multiplex modulatie. Vandaar dat sommige apparaten zijn uitgerust met een schakelaartje, waarmee men de frequentie van de wis-oscillator enigszins kan variëren. Apparaten die met gelijkstroom wissen hebben natuurlijk geen last van dit verschijnsel en hebben uiteraard ook geen ingebouwde hoogfrequent oscillator. De stroom door de wis-kop wordt dan via een weerstand uit de voeding betrokken.

Bij het opnemen van geluid moet het elektrische signaal worden omgezet in een magnetisch veld waarmee de band wordt gemoduleerd. Nu is het niet voldoende het ingang-signaal zonder meer aan de opname-kop aan te bieden. De sterkte van het magnetische veld is niet alleen afhankelijk van het aantal windingen van de opname-spoel, maar ook van de grootte van de stroom doorheen de spoel. De spoel is echter geen ohmse

5.1 Spoelen- en kassette-spelers, opbouw en werking



Figuur 5/5.1 -2: Blokschema van een geluidsrecorder

weerstand, maar een inductieve belasting en het verband tussen aangelegde spanning en opgenomen stroom is niet lineair, maar afhankelijk van de frequentie. Stijgt de frequentie van het signaal, dan neemt de impedantie van de spoel toe en zal een zelfde wisselspanning over de spoel een veel kleinere stroom (en magneetveld) veroorzaken. Vandaar dat het noodzakelijk is een correctie-versterker in het signaalpad op te nemen, die de amplitude van het signaal verhoogt als de frequentie stijgt. Bovendien moet de uitsturing van de band (dit is het volledig magnetiseren van de magneetdeeltjes) aangepast worden aan de frequentie van het signaal. Ook deze taak neemt de correctie-versterker voor zijn rekening.

De fysische eigenschappen van de opname-kop veroorzaken nog een probleem. Iedere magnetiseerbare stof (dus ook het materiaal waaruit de kern van de spoel is opgebouwd) heeft een zogenoemde BH-kurve, een grafiek die het verband geeft tussen de grootte van de stroom door de

5.1 Spoelen- en kassette-spelers, opbouw en werking

spoel en de hoeveelheid magnetische krachtlijnen. Dit verband is slechts over een beperkt gebied lineair. Om nu het geheel in het lineaire gedeelte van deze grafiek in te stellen, wordt het geluidssignaal gemengd met een klein gedeelte van het wissignaal. Men noemt dit de voormagnetisatie. Omdat deze wisfrequentie ver boven de kritische frequentie ligt, heeft dit geen hoorbare gevolgen. In goedkope apparaten wordt natuurlijk niet met HF gemengd, maar met gelijkspanning. Dit heeft echter enige, hier niet nader te noemen, nadelen.

Bij het afspelen van een bespeelde band wekt de magnetische modulatie van de band een magnetisch veld in de luchtspleet op dat getrouw de perioden van het opgenomen signaal volgt. Dit veld induceert in de wikkelingen van de spoel een spanning, die weliswaar in hetzelfde ritme varieert als het magnetische veld, maar waarvan de grootte erg afhankelijk is van de signaal-frequentie. Ook hier is dus een correctie-versterker noodzakelijk, die de frequentie-karakteristiek recht trekt.

Aan de opname- en weergave-kant zijn laagfrequent versterkers aangebracht, die enerzijds de luidspreker sturen en anderzijds het signaal van de verschillende ingangen op het gewenste niveau brengen. In vele apparaten gebruikt men bepaalde schakelings-delen van deze versterkers voor zowel opname als weergave. Er ontstaat dan meestal een vrij ingewikkeld schakel-schema!

Om ruis-problemen te voorkomen is het noodzakelijk de band zo ver mogelijk uit te sturen. De opname-versterker moet voorzien zijn van een regel-mogelijkheid, waarmee men de uitsturing van de band kan aanpassen aan de grootte van het ingangs-signaal. Ook hier past men verschillende systemen toe. Het meest simpele is gebruik te maken van een met de hand in te stellen potentiometer, waarmee men de grootte van de ingangsspanning afregelt op maximale uitsturing van de band.
Een VU-meter is dan absoluut noodzakelijk en men treft zowel klassieke wijzerinstrumenten aan als moderne lichtstipindicatoren, uitgerust met een groot aantal LED's. Duurdere apparaten zijn voorzien van een automatische sterkteregeling. Het signaal wordt gemeten en omgezet in een stuurspanning die automatisch de versterking van een versterker regelt op maximale uitsturing van de band.
Omdat het automatische systeem bepaalde nadelen heeft, treft men apparaten aan waarbij de automatische opnameregeling door middel van een schakelaartje is uit te schakelen.

Duurdere apparaten zijn uitgerust met ruisonderdrukkings-schakelingen, die de signaal-ruis afstand verbeteren. Er zijn talloze systemen ontwikkeld, alle met hun specifieke voor- en nadelen. Toch kan men alle systemen onderbrengen in twee groepen: de complementaire en de niet-complementaire. Bij de eerste groep werkt het systeem zowel in bij de opname als bij de weergave. Banden of kassettes die zijn opgenomen in apparatuur die voorzien is van zo'n systeem kunnen zonder vervorming alleen maar worden afgespeeld in apparatuur die met hetzelfde systeem is uitgerust.
Bekende complementaire systemen zijn Dolby en High-com.

5.1 Spoelen- en kassette-spelers, opbouw en werking

Niet-complementaire systemen werken daarentegen alleen bij de weergave van banden of kassettes. Het bekendste systeem is het door Philips ontwikkelde DNL.
In deze paragraaf wordt niet uitvoerig ingegaan op de werking van ruisonderdrukkers. In het kort komt het er op neer dat ruis voornamelijk in de hogere frequentie-gebieden (vanaf 4 kHz) als storend wordt ervaren en dan voornamelijk bij zachte passages. Bij alle systemen wordt een frequentie- en amplitude-afhankelijke versterkings-regeling ingebouwd. Zachte hoogfrequente passages worden bij de opname versterkt en bij de weergave verzwakt, zodat het signaal-ruis niveau toeneemt. Vandaar dat men complementaire systemen ook wel eens "companders" noemt, een samentrekking van de woorden compressie en expantie.

In stereo-apparatuur treft men alle voor het opnemen en weergeven noodzakelijke schakelingen in tweevoud aan. De koppen zijn opgebouwd uit twee identieke spoelen en kernen, die in één behuizing zijn ondergebracht. Verschillende apparaten beschikken over een omschakelaar, waardoor men beide kanalen afzonderlijk voor het opnemen en weergeven van mono-geluid kan gebruiken.

Een tamelijk ingewikkeld schakelsysteem zorgt ervoor dat de verschillende besproken schakelingen voor iedere functie op de juiste manier met elkaar worden verbonden. Ook de tegenwoordig vaak toegepaste elektrische remmen, elektromagnetische omschakelaars en koppelingen worden uit dit systeem gestuurd. Is het apparaat uitgerust met gelijkstroommotoren dan zijn elektronische toerentalstabilisatie-schakelingen noodzakelijk. Soms treft men in het schakelgedeelte ook schakelingen aan, die de motoren automatisch laten afslaan als de band of de kassette op is en die werken door middel van het meten van de bandspanning of reageren op de geleidende aanloopstrook aan het begin en het einde van de band.

De voeding betrekt de noodzakelijke, vaak gestabiliseerde bedrijfs-spanningen voor de elektronische schakelingen uit het net of uit de ingebouwde batterijen of nikkel-cadmium accumulatoren.

5.1 Spoelen- en kassettespelers, opbouw en werking

5/5.1.3 Ruisonderdrukkings-systemen

Bij het transporteren van elektronische signalen ontstaat steeds ruis. Er zijn verschillende ruis-bronnen, zoals weerstands-ruis, versterkers-ruis, thermische ruis en niet te vergeten bandruis. Deze ruis werkt zeer storend als men kleine geluids-signalen moet behandelen. Vandaar dat er een aantal technieken zijn ontwikkeld waarmee men de storende invloed van de ruis in min of meerdere mate kan compenseren.

Bij geluids-reproduktie via magnetische band is de grootste veroorzaker van ruis het transport-medium, de magnetische band, zelf. De oppervlakte-laag van de band is immers een soort (weliswaar zeer fijn-korrelig) schuurpapier! De magnetische deeltjes waaruit de gevoelige laag van de band is samengesteld vormen een microscopisch gezien korrelige laag en als we dus de band langs de koppen voeren zal de afstand tussen band en kop steeds microscopisch kleine afwijkingen vertonen. Dit voortdurend in grootte wisselend luchtspleetje veroorzaakt afwijkingen in het magnetische systeem en dit uit zich onder de vorm van een ruissignaal. Het zal nu wel duidelijk zijn dat de invloed van deze korrelige bovenlaag kleiner wordt als de band breder is. Het gemiddelde oppervlak waar kop en band elkaar raken is dan veel groter en de statistische afwijkingen, veroorzaakt door de korrel-structuur worden kleiner. Vandaar dat men voor professionele geluids-opnames zeer brede banden gebruikt (1 inch!), waarop weliswaar vele sporen tegelijk worden opgenomen, maar waar de breedte van één spoor toch nog tamelijk groot is.

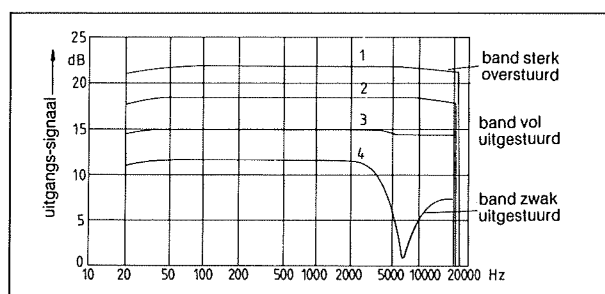
Bij kassette-spelers, echter, werkt men in de vier-sporen techniek (dus het normale stereo-systeem met informatie op beide kanten van de kassette) met een spoorbreedte van slechts 0,63 mm. Zonder speciale voorzieningen, die de ruis verminderen is er met zo'n systeem geen kwalitatief goede opname te maken! Natuurlijk mogen deze systemen zo min mogelijk invloed hebben op het op te nemen geluids-signaal.

Hoewel de band-ruis zeer breed-bandig is (er zitten dus zowel zeer lage als zeer hoge frequenties in) merkt het menselijke gehoor er het meest van bij frequenties vanaf 4 kHz. De storende invloed wordt uiteraard groter als het niveau van het muzieksignaal afneemt. Vandaar dan ook dat de meeste systemen alleen effectief zijn vanaf ongeveer 4 kHz en worden ingeschakeld als het niveau van het opgenomen signaal onder een bepaalde drempel zakt.

Het DNL-systeem

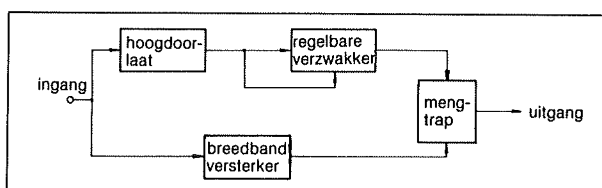
DNL staat voor Dynamic Noise Limiting en is een door Philips ontwikkeld systeem dat alleen bij het weergeven van signalen wordt toegepast (niet-complementair systeem). Men kan dus "normale" kassettes weergeven, dit in tegenstelling tot de complementaire systemen, waar alleen kassettes die met het systeem zijn opgenomen kunnen worden afgespeeld.
In principe kan de werking van een DNL-systeem als volgt worden beschreven. De schakeling is opgebouwd uit een laagdoorlaatfilter met een vaste afsnijfrequentie, maar met een regelbare dempings-factor. De mate van demping wordt bepaald door de momentele waar-

de van het geluids-signaal. Zit er weinig hoogfrequent in het signaal, dan is de demping maximaal en het dan sterk storende ruis-signaal wordt maximaal verzwakt. Zit er veel hoogfrequente informatie in het geluids-signaal dan is de demping minimaal. Het ruisen wordt dan nauwelijks verzwakt maar dat is niet zo erg, omdat de eigen ruis van de band dan toch verloren gaat in het veel sterkere geluids-signaal. Bij normale uitsturing van de band wordt het te verwerken geluidssignaal dus nauwelijks beïnvloed.



Figuur 5/5.1.3 -1: De frequentie-karakteristiek van een DNL-schakeling in functie van de grootte van de ingangs-spanning

De DNL-schakeling is, zoals afgebeeld in figuur 5/5.1.3 -2, opgebouwd uit twee kringen, die door het ingangs-signaal parallel worden doorlopen. Aan de uitgang bevindt zich een mengversterkertje, waar de twee deel-signalen met elkaar worden gemengd en aangeboden aan de uitgang van de schakeling.



Figuur 5/5.1.3 -2:
Het blok-schema van de DNL-schakeling

De schakeling wordt meestal voor de eindversterker opgenomen, zodat ook eventueel in het apparaat ingebouwde toonregelingen door de DNL worden verwerkt. De breedband-keten verwerkt het ingangs-signaal zonder het te beïnvloeden en stuurt het rechtstreeks naar de menger. In de bovenste kring wordt het signaal eerst door een hoogdoorlaat-filter gevoerd. Alle signalen met frequenties lager dan 4 kHz worden verzwakt. Na dit filter volgt een regelbare verzwakker. De versterkings-factor van deze schakeling is omgekeerd evenredig met de grootte van het uitgangs-signaal van het filter. Een groot stuursignaal levert dus een minimale versterking of maximale demping op, een klein stuursignaal stelt de schakeling in op maximale versterking of minimale demping.

De meng-schakeling is opgebouwd als inverterende sommator. Worden aan beide ingangen even grote signalen aangeboden, dan heffen deze elkaar op in de menger en het uitgangs-signaal is gelijk aan nul.

We behandelen de werking van de schakeling aan de hand van enige voorbeelden:

- laagfrequente signalen worden alleen maar door de onderste keten doorgelaten en worden door de sommeer-trap gewoon doorgegeven aan de uitgang. Er treedt dus geen signaal-beïnvloeding op;
- een groot hoogfrequent ingangs-signaal wordt door het filter doorgelaten en stuurt de regelbare verzwakker. Door de omgekeerde evenredige werking van deze schakeling zal de verzwakking van de schakeling zich op de maximale waarde instellen, het HF-signaal wordt maximaal verzwakt. De bovenste kring van de schakeling is als

het ware uitgeschakeld. Het HF-signaal wordt dus alleen door de onderste breedband-versterker aan de menger aangeboden en rechtstreeks doorgekoppeld naar de uitgang. Ook nu treedt er geen signaal-beïnvloeding op;

- een klein hoogfrequent signaal aan de ingang stelt de regelbare verzwakker in op minimale demping. Het signaal wordt dus in feite ongehinderd doorgelaten en aan de bovenste ingang van de menger aangeboden. Aan de onderste ingang van deze schakeling wordt echter (via de breedband-versterker) hetzelfde signaal aangelegd! Door de inverterende werking van de menger heffen beide signalen elkaar op, de uitgang is nul.

Een praktische DNL-schakeling

De praktische schakeling van een DNL-systeem wordt beschreven aan de hand van een door Telefunken in enige commerciële kassettespelers toegepast schema (zie figuur 5/5.1.3 -3).

Transistor T151 is geschakeld als fasedraaier. De emitter- en kollector-weerstanden R154 en R153 zijn even groot. De kollector-stroom wekt over beide weerstanden even grote spanningsvallen op. Als de stroom stijgt, zal de emitterspanning ook stijgen (signaal in fase met de ingangs-spanning) en de kollectorspanning dalen (signaal in tegenfase met de ingang). Op deze manier wordt de inverterende werking van de sommeerversterker nu reeds in de schakeling ingebouwd.
Transistor T152 vormt het hoogdoorlaat-filter. De afsnijfrequentie wordt bepaald door de onderdelen C153, C154, R157 en R158. Het uitgangs-signaal wordt door middel van de scheidingscondensator C155 aangeboden aan de ingang van de versterker, opgebouwd rond de transistoren T153 en T154. De dioden D151 en D152, opgenomen in een terugkoppel-lus, begrenzen signaaltoppen en gaan oversturing van de trap tegen. Door de twee-trapsopbouw van de versterker is het signaal op de kollector van T154 nog steeds in fase met het ingangs-signaal. De uitgang van de versterker gaat via de weerstanden R165, R166 en R168 naar de uitgang, waar het wordt gemengd met het signaal op de kollector van T151. Dit signaal is in tegenfase en wordt via de weerstand R171 aan de uitgang aangeboden. De uitgangsschakeling is dus niets meer dan een resistieve menger. Als er via R171 en R158 twee even grote, maar fasegedraaide signalen aan de uitgang worden aangeboden, dan zullen deze signalen elkaar over de meng-weerstanden opheffen en er verschijnt geen signaal op de uitgang van de schakeling.
De regelbare verzwakker is opgebouwd uit de dioden D153 en D155 en de weerstand R166. De werking is als volgt. Het uitgangs-signaal van de versterker stuurt via condensator C158 de dioden D154 en D156. Deze onderdelen vormen twee gelijkrichters (een voor de positieve signaal-helften en een voor de negatieve halve perioden) en de gelijkgerichte signalen worden afgevlakt over de condensatoren C160 en C161. Over deze condensatoren ontstaan bijgevolg gelijkspanningen, waarvan de waarde wordt bepaald door de momentele waarde van het uitgangssignaal van de versterker. De condensatoren ontladen zich echter over de dioden D153 en D155. Afhankelijk van de grootte van de condensator-spanning zal

5.1 Spoelen- en kassettespelers, opbouw en werking

er een min of meer grotere stroom door de dioden gaan vloeien. Nu weet men dat de eigen weerstand van een diode (de zogenoemde dynamische weerstand) afhankelijk is van de grootte van de diodestroom. Denk maar aan het typische verloop van de stroom-spannings-karakteristiek van een diode en aan het feit dat de inwendige weerstand van de diode wordt bepaald door de verhouding van de spanning over de diode tot de stroom doorheen de diode! Hoe hoger de stroom, hoe steiler de helling van de karakteristiek en hoe lager de dynamische weerstand van het onderdeel. De dioden vormen echter een spannings-deler met de weerstand R166! Als de versterker geen signaal levert, dan staat er geen spanning over de condensatoren C160 en C161. Er vloeit geen stroom door de dioden, hun dynamische weerstand is oneindig groot. De verzwakker is uitgeschakeld, het signaal van de kollector van T154 gaat nu onverzwakt via weerstand R168 naar de uitgang. Levert de versterker echter een groot signaal af, dan zal de gelijkspanning over de condensatoren groot zijn, er vloeit een grote stroom door de dioden. De dynamische weerstand van de onderdelen is laag en de spanningsdeling tussen weerstand R168 en de "weerstanden" D153 en D155 is maximaal. Het signaal op de uitgang van de versterker wordt maximaal verzwakt aan de uitgang van de schakeling aangeboden.



Figuur 5/5.1.3 -3: Een praktisch schema van een DNL-schakeling

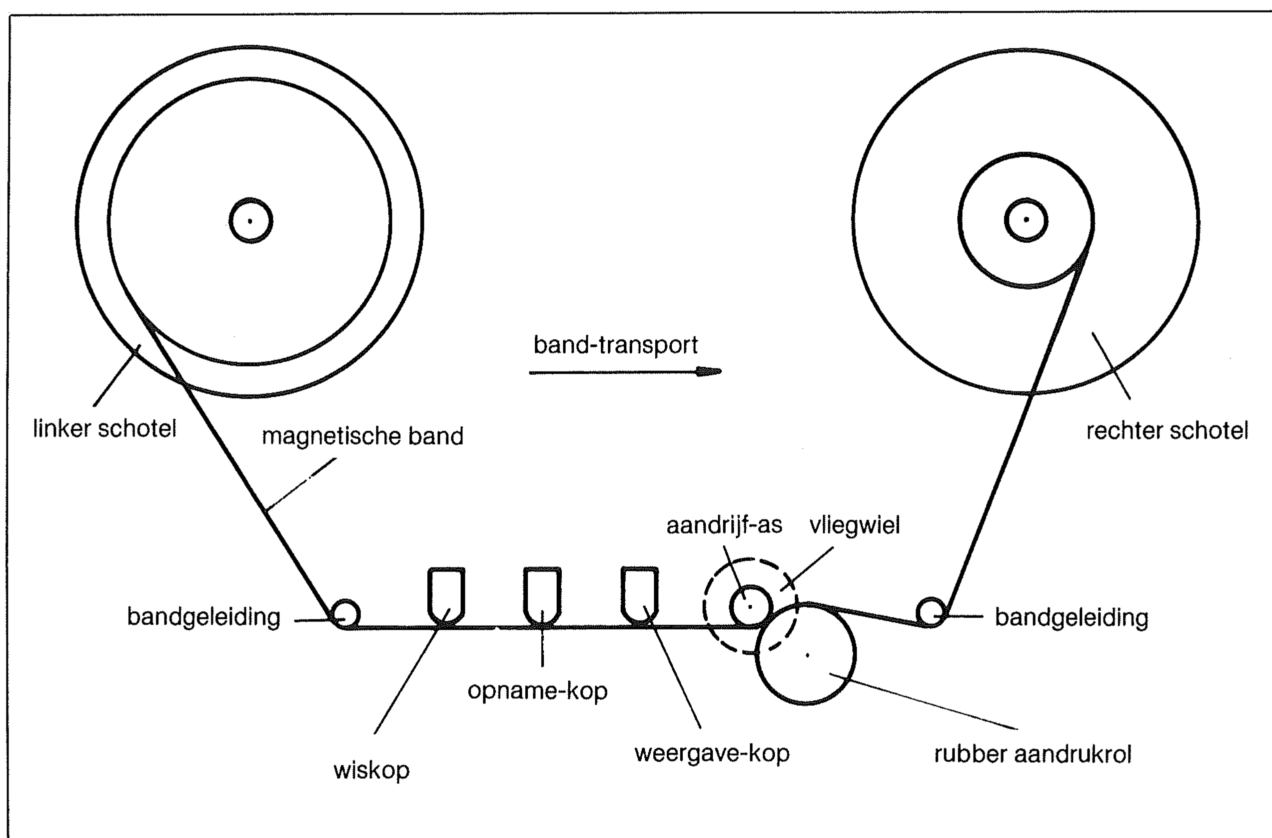
5.1 Spoelen- en kassettespelers, opbouw en werking

5/5.2

De mechanische opbouw

De langdurig probleemloze werking en de kwaliteit van een bandspeler worden niet alleen door de elektronische schakelingen bepaald, maar net zo goed (of misschien nog wel meer) door de aandacht die de ontwerpers hebben besteed aan de konstruktie van de mechanische functies. Gelijkmatig bandtransport, constante bandsnelheid, goede bandgeleiding en geruisarme werking mogen dan voor de hand liggende eisen zijn, lang niet ieder apparaat voldoet na enige honderden bedrijfsuren aan de door DIN 45500 op dit gebied vastgelegde normen!

Ook bij de mechanische opbouw treffen we verschillende benaderingen aan, voornamelijk ingegeven door kostprijs en



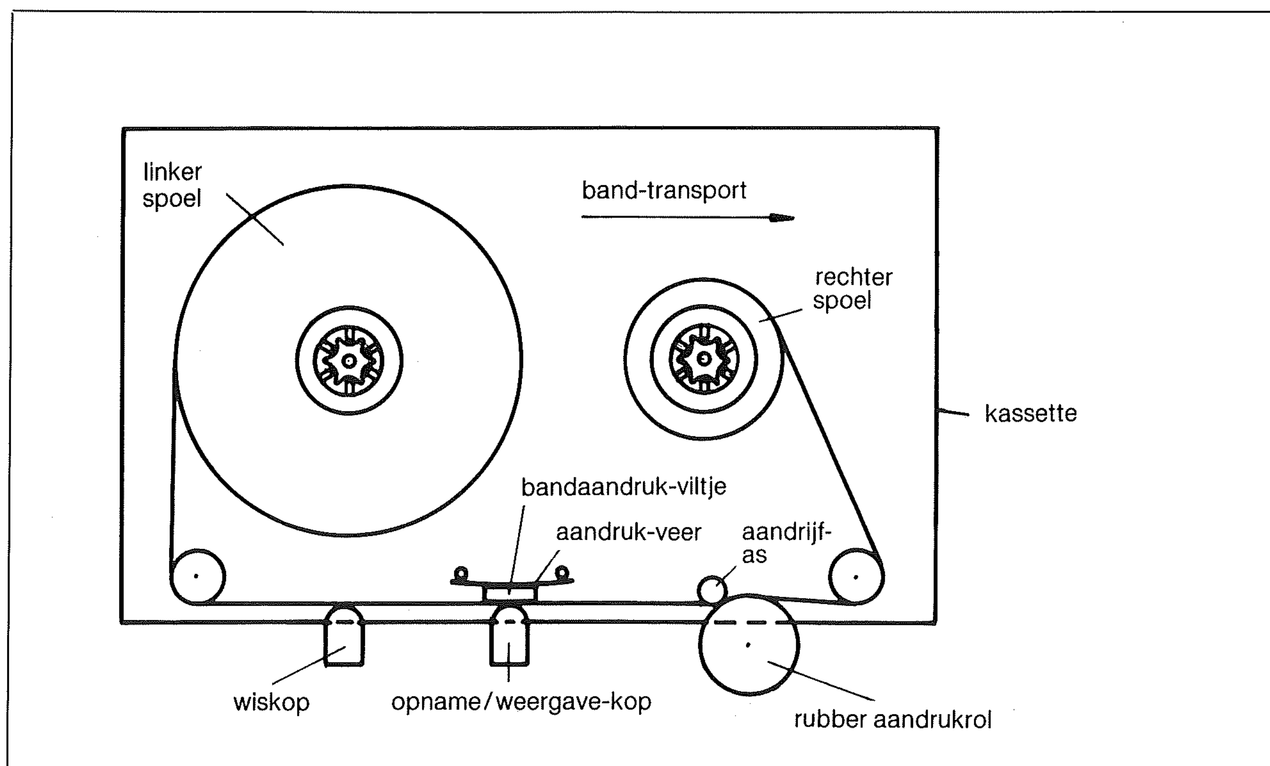
Figuur 5/5 -2a: Het bandtransport-mechanisme bij spoelen-recorders

5.2 De mechanische opbouw

gebruikersgroep. Het omschakelen tussen de diverse functies kan gebeuren door met de hand te bedienen mechanische overbrengingen, die door middel van palletjes en hefbomen rechtstreeks inwerken op de om te schakelen onderdelen. Bij duurdere apparaten werkt dit alles zuiver elektrisch en worden de impulsen van met de hand in te drukken elektrische schakelaars omgezet in stuursignalen voor elektromagneten die de diverse mechanische functies sturen. De aandrijving van de bewegende delen kan geschieden door middel van gelijkstroom-, stappen-, asynchrone- of synchrone motoren.

De goedkopere apparaten beschikken over één motor, die door middel van omschakelbare mechanische koppelingen de diverse aan te drijven mechanieken stuurt. Duurdere apparaten hebben tot zelfs vier motoren, dus voor iedere functie een speciaal voor de functie ontworpen motor.

In deze paragraaf wordt de fundamentele werking van het mechanische gedeelte besproken, zonder in te gaan op alle genoemde specialiteiten.



Figuur 5/5 -2b: Het bandtransport-mechanisme bij een kassette-recorder

De voornaamste functie van de mechanische onderdelen van een recorder kan als volgt omschreven worden: de band afwikkelen van de linker schotel, hem met een constante snelheid langs de opname-, weergave- en wiskoppen voeren en hem

5.2 De mechanische opbouw

nadien gelijkmatig weer opwikkelen op de rechter schotel. Daarnaast is het noodzakelijk dat men snel een bepaald gedeelte van de band kan opzoeken. Iedere recorder beschikt bijgevolg over twee toetsen "snel heen" en "snel terug", die de band met grote snelheid van de ene naar de andere schotel omspoelen. Om onnodige slijtage van de koppen te voorkomen, wordt tijdens het versneld spoelen de band van de koppen gelicht.
De diameter en het toerental van de aandrijf-as bepaalt de snelheid, waarmee de band langs de koppen wordt geleid. Deze as is voorzien van een vrij zwaar vliegwiel, zodat kortstondige snelheidsafwijkingen van de motor worden opgevangen door de in het vliegwiel opgeslagen kinetische energie.
Meestal is de motor door middel van een rubber riem met de aandrijf-as gekoppeld. Een grote aandrukrol uit rubber verhindert slip, maar moet om een gelijkmatig transport te verzekeren erg goed zijn gelagerd. De band wordt door de trekkracht van de combinatie aandrijf-as/aandrukrol van de linker spoel afgewikkeld. De as van deze spoelschotel moet dus zo min mogelijk wrijving hebben! De rechter spoel moet de getransporteerde band opwikkelen. De trekkracht die deze spoelschotel uitoefent mag echter niet te groot zijn. Bovendien moet het toerental variëren: is de spoel leeg, dan is de omtrek van de cirkel waarop de band wordt gewonden het kleinst en moet het toerental het grootst zijn. Aan beide eisen wordt voldaan door het opnemen van een slip-koppeling tussen motor en spoelschotel. De bandgeleiders voor en na de koppen-set zorgen ervoor dat de sporen op de band steeds langs de luchtspleten worden gevoerd. In sommige apparaten wordt het kontakt tussen band en kop verzekerd door een aandrukviltje, dat door middel van een lichte veer tegen de achterzijde van de band wordt gedrukt.

Voor het snel heen- of terugspoelen wordt een van de schotels met een relatief hoge snelheid door de motor aangedreven.
De tweede schotel wordt automatisch aangedreven door het afwikkelen van de band, maar meestal heeft deze schotel een rem, zodat er een kleine tegenkracht wordt uitgeoefend en de band regelmatig wordt opgewikkeld. Deze kracht ontstaat door viltjes, die met een kleine kracht tegen de achterkant van de schotel worden gedrukt. Schakelt men naar de stopstand, dan moeten beide spoelen worden afgeremd, zodat ze onmiddellijk stoppen. Dit gebeurt door de kracht op de remviltjes te verhogen. Duurdere apparaten zijn uitgerust met een elektronisch systeem dat door middel van een voeler de bandspanning opmeet en met dit signaal een stuurbare rem instelt.

Bij kassette-apparaten zijn twee extra voelers ingebouwd, die uitsparingen in de rugzijde van de kassette aftasten en de bandsoort-omschakeling en de opnameprotectie inschakelen. Spoelen-apparaten hebben deze mogelijkheden echter niet.

Het omschakelen van de ene bandsnelheid naar de andere gaat bij de duurdere apparaten elektronisch en bij de eenvoudige uitvoeringen door een soort versnellings-bak, waarbij een rubber aandrijfschijf wordt verplaatst naar diverse diameters van de motor-as.

5/5.3

Gereedschappen, meet- en test-instrumenten

Voor het opsporen van storingen in het elektronische deel is een signaalvolger het aangewezen instrument. Men kan met de ingang de signaal-weg volgen en de oorzaak van de storing snel opsporen.

Het bepalen en eventueel afregelen van de bandsnelheid is niet zo eenvoudig. Men moet de beschikking hebben over een nauwkeurige digitale frequentiemeter (nauwkeurigheid minstens 0,1% bij 1 kHz) en speciale afregel-kassettes die met een signaal met een zeer konstante frequentie van 1 kHz zijn gemoduleerd.

De werking van de hoogfrequent oscillator kan met behulp van zelfs de meest eenvoudige oscilloscoop worden onderzocht. Een dubbelstraals-uitvoering is niet noodzakelijk. Eventueel zou men zelfs een wisselspannings voltmeter kunnen gebruiken (frequentiebereik 100 kHz, nauwkeurigheid niet belangrijk) waarmee men kan controleren of er een HF-signaal aanwezig is.

Tegenwoordig hebben de meeste bandspelers (de zogenoemde deck's) geen ingebouwde eindversterker en luidspreker. Men moet dan over een externe eindversterker beschikken, maar een gewone radio-ontvanger met een ingang voor het aansluiten van recorders voldoet uitstekend. Het voordeel van zo'n apparaat is dat men de radio-uitzendingen kan gebruiken voor het maken van testopnames.

En . . . tot slot natuurlijk een heleboel bespeelde en onbespeelde kassettes en banden, waarvan minstens één stel moet zijn voorzien van een kwalitatief zeer goede muziekopname en die men als referentie voor het beoordelen van de kwaliteit van het weergave-deel kan gebruiken. Enige testbanden en -kassettes, kant en klaar gekocht of zelf op een studio-machine opgenomen mogen eveneens niet ontbreken.

5/5.4

Fout-zoeken: stap na stap!

In wezen bestaan er twee grote groepen van fouten:
de mechanische en de elektronische.

Mechanische fouten kunnen door het nauwkeurig bekijken en betasten van de verschillende draaiende delen meestal snel worden ontdekt. Zo kunnen storings-bronnen van jankende weergaven meestal snel worden opgespoord door de kracht die draaiende rubber schijven op elkaar uitoefenen even met de vinger af te tasten. Ook ons gehoor is een belangrijk hulpmiddel: onderdelen die vreemdsoortige geluiden produceren horen onmiddellijk op de verdachtenbank thuis!
De meest voorkomende mechanische fouten zijn uitgesleten lagers, afgebroken kunststof palletjes en pennetjes en rubberen onderdelen die door vet zijn aangetast, door ouderdom bros en niet-veerkrachtig zijn geworden of rubberen aandrijfriempjes die zijn uitgetrokken.

Is de oorzaak van een mechanische fout dus meestal vrij snel op te sporen, het verhelpen is heel wat moeilijker. Zonder speciale vervangings-onderdelen komt men meestal niet ver en deze te vinden is een hele opgave.

Fouten in het elektronische gedeelte van een apparaat zijn op de gebruikelijke manier te lokaliseren: het opmeten van spanningen in de voeding, de motor-sturing, de HF-generator en de opname- en weergave-versterkers. Door middel van de signaalvolger kan men de loop van een signaal door de verschillende trappen volgen. Klinkt het signaal op een bepaald punt erg vervormd (of is zelfs helemaal afwezig) dan heeft men met vrij grote zekerheid de fout gelokaliseerd en kan men door middel van weerstands- en spanningsmetingen in de betreffende trap de defecte onderdelen snel opsporen.

5/5.5

Bespreking van mogelijke storings-oorzaken

In deze paragraaf worden enige vaak voorkomende fouten in kassette- en band-apparaten beschreven. De tekst op zich vormt zeer zeker geen volledige reparatie-handleiding, maar wil door middel van een aantal voorbeelden de logische samenhang aantonen, die bestaat tussen de oorzaak en de gevolgen van een storing. De benoeming van de onderdelen verwijst naar het in paragraaf 5/5.8 opgenomen voorbeeld-schema.

Zoals reeds diverse malen gezegd zijn een heleboel oorzaken terug te voeren naar mechanische storingen. Storingen die soms zijn te verhelpen door een grondige poets-beurt!
Niet alle oplos- en wasmiddelen zijn echter bruikbaar. Rubberdelen kunnen het best met brand-spiritus worden schoon gemaakt, metalen delen verdragen een wasbeurt met wasbenzine.

Toonhoogte-afwijkingen (janken)

te onderzoeken blokken: band-transport
mogelijke oorzaken: motor, motor-sturing (bijvoorbeeld IC2), beschadigde rubber-rollen, lagers van assen, de kassette zelf.

Slechte weergave hoge tonen

te onderzoeken blokken: het transport van de band langs de koppen
mogelijke oorzaken: aandruk-viltje, vervuilde kop, kop beschadigd door gebruik verkeerde band-soort (ingeslepen), bandgeleiding

Band wikkelt zich rond de geleiderrolletjes (band-salade)

te onderzoeken blokken: band-transport
mogelijke oorzaken: slip-koppelingen, aandrijving rechter spoel, slechte kassette

Apparaat wist niet bij het opnemen

te onderzoeken blokken: wiskop en sturing van deze kop
mogelijke oorzaken: wiskop K2, stroombron R18, SK1

Wel opnemen, maar geen weergave

te onderzoeken blokken: opneem-versterker
mogelijke oorzaken: opname-weergave omschakelaar, ingangstrap (TS1, B44, R1), versterkings-regeling (IC1c), terugkoppeling (R8)

Vervormde opname (voorbespeelde banden worden goed weergegeven)

te onderzoeken blokken: voormagnetisatie
mogelijke oorzaken: R7

5.5 Bespreking van mogelijke storingsoorzaken

Zowel vervormde opname als weergave

te onderzoeken blokken: voeding, gemeenschappelijke versterker
mogelijke oorzaken: D101, R14, IC1a

Netbrom (50 of 100 Hz stoorsignaal in het geluid)

te onderzoeken blokken: voeding
mogelijke oorzaken: D101, D102, C19

5/5.6

En dat laten we aan de vakman over!

In de service-handleiding van de meeste apparaten treft men beschrijvingen aan van afregel- en instelwerkzaamheden, die alleen mogelijk zijn als men over speciale, dure instrumenten beschikt (bijvoorbeeld een vervormingsmeter). De meeste doe-het-zelvers zullen er nooit toe komen dergelijke apparatuur aan te schaffen. Een bezoekje met het apparaat aan een gekwalificeerde service-firma is in dit geval veel goedkoper.

Ga nooit zo maar aan instel-potentiometers draaien of op goed geluk onderdelen uitsolderen en vervangen. Vaak maakt men de zaak alleen maar erger en het nadien laten repareren van een apparaat waarin is geknoeid kost heel erg veel geld!
Dus: bezin eer U begint en ken Uw eigen grenzen!

5/5.7

Afregel- en instel-werkzaamheden

Alvorens men een apparaat gaat afregelen en ijken (volg daarbij steeds de handleiding van de fabrikant nauwkeurig op) moet men alle functies uittesten, versleten delen vervangen en alle draaiende en tot het mechanische gedeelte behorende onderdelen goed schoon maken (vergeet de koppen niet!).
Omdat het instellen van de mate van voormagnetisatie, het afregelen van een gestabiliseerde voeding en het instellen van de werkpunten van de versterkers van fabrikant tot fabrikant zeer kan verschillen, kan men in feite geen algemeen bruikbare handleiding opstellen.
Het afregelen en ijken van de bandsnelheid kan echter wel volgens diverse, algemeen geldende procedures worden uitgevoerd. In wat volgt wordt de meest nauwkeurige procedure beschreven, die er echter wel van uitgaat dat men de beschikking heeft over een nauwkeurige, liefst digitale frequentiemeter. Op het af te regelen apparaat wordt een test-band afgespeeld, waarop een signaal met een bekende, zeer nauwkeurige frequentie van ongeveer 1 kHz is opgenomen. Men kan dergelijke banden of kassettes kopen, maar ook zelf opnemen als men over een zeer goede recorder beschikt en een stabiele generator als signaal-leverancier kan gebruiken. Op de uitgang van het apparaat (line-uitgang of gewoon over de luidspreker-klemmen) wordt een digitale frequentie-meter aangesloten. Men stelt de recorder in op weergave en berekent de verhouding tussen de gemeten frequentie en de bekende frequentie die op de test-band is opgenomen. Uit deze verhouding kan men de snelheids-fout afleiden. Men verdraait vervolgens de instelpotentiometer in de schakeling die de motor-snelheid regelt tot de fout nul is.

De stand van de koppen ten opzichte van de band is zeer belangrijk voor een goede weergave van met name de hoge tonen. De luchtspleet moet precies loodrecht staan op de band en zelfs de geringste afwijking veroorzaakt een flinke verzwakking van de hoge tonen. Is dit bij apparaten die worden gebruikt voor muziekweergave al zeer belangrijk, bij recorders die voor het opslaan en weer inlezen van computer-gegevens worden gebruikt (de zogenoemde data-recorders) leidt iedere fout-hoek tussen kop en band tot het door de computer weigeren van de data-stroom!
Iedere recorder moet dus zonder meer op dit punt worden gecontroleerd. Gelukkig gaat dat tamelijk eenvoudig. De koppen zijn op een klein metalen plaatje bevestigd en dit plaatje is door middel van drie schroeven met het chassis verbonden.
Een van deze schroefjes is instelbaar en door dit te verdraaien kan men de stand van het bevestigings-plaatje ten opzichte

5.7 Afregel- en instel-werkzaamheden

van het chassis iets wijzigen. Bij data-recorders is dit schroefje steeds zonder demontage van het apparaat bereikbaar, bij geluids-recorders kan men in de service-handleiding de juiste procedure opzoeken.
Wat men, naast een klein schroevendraaiertje, nodig heeft is een band of kassette bespeeld met een relatief hoge frequentie (meestal in de buurt van 3 kHz).
Men speelt deze band af en meet met een wisselspanningsvoltmeter de uitgangsspanning van het apparaat. Men kan net zo goed een oscilloscoop gebruiken of zelfs de uitslag van de ingebouwde VU-meter als referentie gebruiken. Het enige dat men vervolgens moet doen is het schroefje op maximale uitslag van de meter afregelen!

5/5.8

Een schema als voorbeeld

Het op de volgende pagina afgebeelde schema stelt de volledige elektronische schakeling voor van een zeer eenvoudige kassettespeler. Het apparaat kan zowel uit batterijen als uit het net worden gevoed, wist met gelijkstroom en is voorzien van ingebouwde mikrofoon en luidspreker. De gelijkstroommotor wordt elektronisch geregeld en drijft via de noodzakelijke mechanische koppelingen alle mechanische functies aan.

De transformator T101 levert via de twee gelijkrichters D101 en D102 de door condensator C19 afgevlakte gelijkspanning +1. Duwt men de netsteker in het apparaat dan wordt een schakelaar geopend, waardoor de batterij van 9 V wordt uitgeschakeld. De voor brom gevoelige delen van de schakeling worden uit de extra afgevlakte spanningen +2 en +3 gevoed.

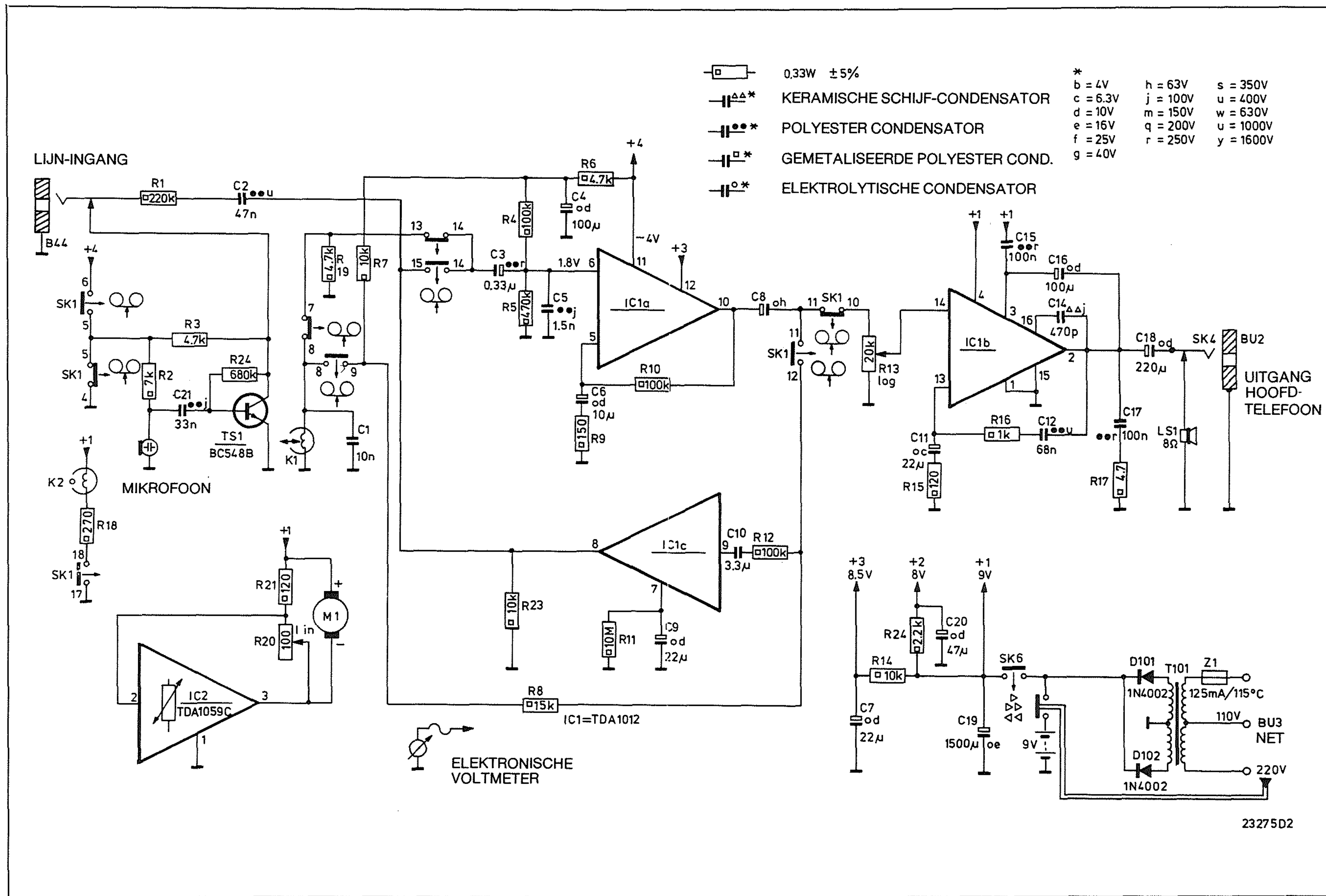
Geïntegreerde schakeling IC2 is een regelbare constante stroombron en verzorgt het constante toerental van de motor.

De wiskop K2 verbruikt een bepaalde, door weerstand R18 bepaalde gelijkstroom en wordt in- en uitgeschakeld door middel van de opname-weergave omschakelaar SK1.

In de weergave-functie wordt de gecombineerde kop verbonden met de ingang van de laagfrequent versterker IC1a. De volumepotentiometer R13 stuurt de eindversterker IC1b, die het geluids-vermogen levert voor het bekrachtigen van de luidsprekerspoel.

In de opname-stand wordt het reeds genoemde IC1a gebruikt als voorversterker, gestuurd uit ofwel de ingebouwde mikrofoon, ofwel het signaal op de ingangs-bus B44. Het zeer kleine signaal van de elektret-mikrofoon wordt echter eerst nog eens voorversterkt door de transistor-schakeling TS1.
Het derde deel van IC1 (IC1c) regelt de versterking en dus ook de mate van uitsturing van de band. Ook de voormagnetisering wordt door middel van gelijkstroom verzorgt.
Bij opname stuurt weerstand R7 een bepaalde gelijkstroom door de gecombineerde opname-weergavekop K1.

5.8 Een schema als voorbeeld



Figuur 5/5.8: Het schema van een eenvoudige kassette-recorder als voorbeeld

5/5.9

Microfoons

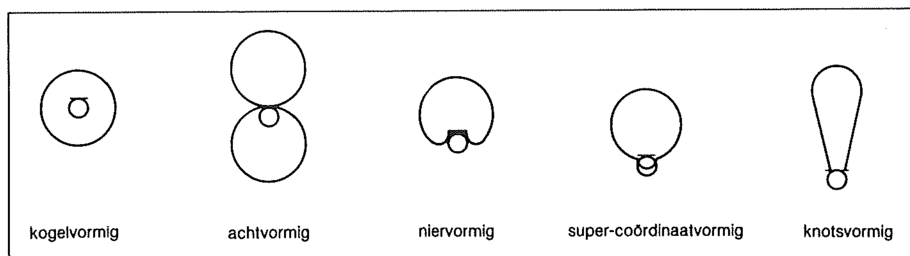
Een "Audio/Hifi"-hoofdstuk is niet compleet zonder een bespreking van rand-apparatuur, die aan versterkers, tuners en bandapparaten wordt aangesloten! In deze paragraaf worden enige types van microfoons besproken.

Microfoons zetten, da's algemeen bekend, een variërende geluidsdruk om in een daarmee proportioneel variërende elektrische spanning. Er zijn verschillende soorten microfoons ontwikkeld, die tamelijk afwijkende eigenschappen hebben en ook niet allemaal op dezelfde manier op een apparaat kunnen worden aangesloten. Er zijn ook microfoons in de handel die een zeer specifieke toepassing hebben en niet zonder meer voor algemeen gebruik geschikt zijn!

Eigenschappen en eisen

De algemene eis waaraan gelijk welk soort microfoon moet voldoen is dat hij het geluid afkomstig van een of meerdere geluidsbronnen moet omzetten in een elektrisch signaal. Het signaal wordt gebruikt om het originele geluids-beeld op een willekeurige andere plaats zo natuurgetrouw mogelijk weer te geven. Afhankelijk van de toepassing en de omstandigheden in de opname-ruimte zal de microfoon een aangepaste richtings-gevoeligheid moeten hebben. Als men met microfoons rechtstreekse opnames verzorgt van concerten is het belangrijk dat de richtingsgevoeligheids-karakteristiek van het apparaat zo'n vorm heeft dat storende geluiden vanuit het publiek zo min mogelijk worden opgenomen. Men moet dan een microfoon toepassen met een nier-vormige richtingskarakteristiek (figuur 5/5.9 -1). Zoals uit de tekening blijkt bestaan er verschillende karakteristieken en de vorm van de karakteristiek wordt voornamelijk bepaald door de mechanische constructie van het apparaat.

De op een microfoon invallende geluidsdruk kan variëren tussen 2^{-10} bar (een



Figuur 5/5.9 -1:
De richtings-gevoeligheid van verschillende soorten microfoons.

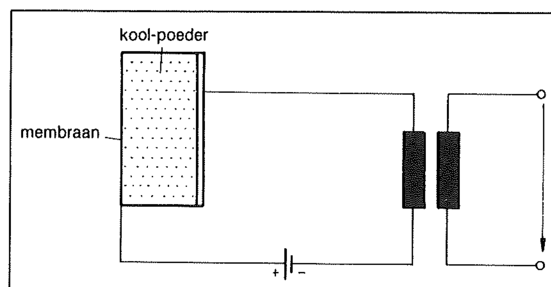
geluid dat nog net door het menselijke gehoor kan worden opgevangen) tot meer dan 2^{10} bar (pijngrens!). De microfoon moet in staat zijn dit grote dynamische bereik zonder vervormingen om te zetten in een elektrische spanning, maar anderszijds moet ook de geringste druk-golf een door de elektronica te verwerken spanning opleveren.

Afhankelijk van mechanische bouw en principiële werking kan een microfoon een bepaald frequentie-bereik weergeven. Een gewone kool-microfoon, zoals wordt gebruikt in telefoon-hoorns, verwerkt slechts signalen tussen 500 Hz en 4 kHz en is ideaal voor het weergeven van de menselijke stem die immers in dit frequentiegebied ligt. Anderszijds zijn er voor ultra-geluidsgolven gevoelige microfoons in de handel die signalen met frequenties tot meer dan 20 kHz kunnen verwerken.

De uitgangs-parameters (uitgangs-spanning en -weerstand) kunnen zeer uit elkaar liggen en men zal voor iedere toepassing een microfoon moeten zoeken, die zich het gemakkelijkst laat aanpassen aan de elektronische schakeling, die het microfoon-signaal verwerkt. Soms is het echter noodzakelijk omgekeerd te werken: voor een bepaalde toepassing is een bepaald microfoon-type aangewezen en dan moet men de elektronische schakeling aanpassen aan dat bepaalde type microfoon.

De kool-microfoon

De opbouw van een kool-microfoon is geschetst in figuur 5/5.9 -2. In principe werkt dit type als regelbare weerstand.



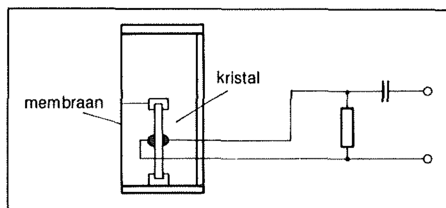
Figuur 5/5.9 -2:
De kool-microfoon met stuur-schakeling

Tussen twee elektroden is koolstof-poeder (in feite microscopisch kleine korreltjes) aangebracht. Een van de elektroden, het membraan, is zo dun dat het door de geluids-druk heen en weer kan bewegen. Deze bewegingen veroorzaken een kleinere of een grotere contact-oppervlak tussen de korreltjes onderling en tussen de korreltjes en het membraan. De weerstand van de koolstof-massa gaat zich dus op het ritme van de geluidsgolven wijzigen en deze weerstandsvariatie wordt omgezet in een spanning. De koolstofmicrofoon moet dus steeds zijn opgenomen in een gesloten kring, opgebouwd uit een gelijkspannings-voeding (bijvoorbeeld een batterij), een belastings-weerstand en de microfoon zelf. Soms gebruikt men als belastings-weerstand de primaire wikkeling van een transformator, zodat de door de primaire kring vloeiende wisselende gelijkstroom wordt omgezet in een secundaire wisselspanning.
De kool-microfoon heeft zeer slechte eigenschappen: een zeer beperkt frequentie-bereik, grote eigen ruis en niet te verwaarlozen vervorming. Kool-microfoons worden toegepast voor laag-kwalitatieve spraak-opnames, zoals in telefoon-toestellen.

5.9 Microfoons

Kristal-microfoon

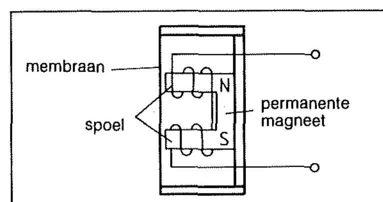
Een kristal-microfoon is opgebouwd volgens het principe van figuur 5/5.9 -3. Het membraan is mechanisch verbonden met een dun plaatje van een kristalleine stof met piëzo-elektrische eigenschappen. Door deze eigenschappen zal er in het plaatje een elektrische spanning ontstaan, als het materiaal wordt blootgesteld aan mechanische krachten. Door middel van twee contacten, aangebracht aan weerszijden van het plaatje, wordt deze spanning afgetakt. De inwendige impedantie is capacitief en ligt in het M-Ohm bereik. Vandaar wordt meestal een impedantie-transformator (FET-volger) ingebouwd. Kristal-microfoons worden vaak in goedkope kassette-recorders gebruikt, maar door hun hoge lineaire vervorming is hun toepassings-gebied tamelijk beperkt.



Figuur 5/5.9 -3: Kristal-microfoon

Elektromagnetische microfoon

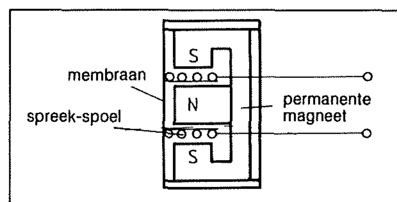
Bij een elektromagnetische microfoon (figuur 5/5.9 -4) is het membraan opgebouwd uit magnetisch geleidend materiaal. Het membraan maakt deel uit van een gesloten magnetisch systeem, samengesteld uit een permanente magneet, een luchtspleet, het membraan en een tweede luchtspleet. Als het membraan gaat trillen dan vergroten en verkleinen de luchtspleten. De totale magnetische weerstand van het systeem gaat variëren en daardoor ook de magnetische kracht-lijnen. Rondom de polen van de permanente magneet is een spoel aangebracht en dit wisselend magnetisch veld wekt in deze spoel een inductie-spanning op.
EM-microfoons worden gekenmerkt door een groot frequentie-bereik en een geringe vervorming. De inwendige weerstand is afhankelijk van het aantal windingen en de draaddikte van de spoel maar ligt meestal in het k-Ohm bereik.



Figuur 5/5.9 -4:
De elektromagnetische microfoon

Elektrodynamische microfoon

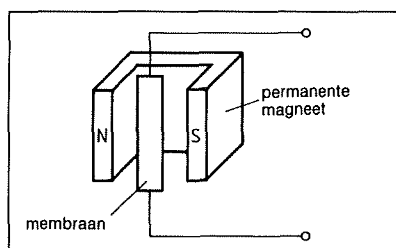
Aan het membraan is een spoeltje bevestigd (figuur 5/5.9 -5) dat zich door de trillingen van het membraan gaat verplaatsen in het permanente veld van een magneet. In de spoel ontstaat een inductie-spanning, die recht evenredig is aan de membraan-bewegingen. De inwendige weerstand is vrij laag (ongeveer 200 Ohm) maar kan door een aanpassings-trafo worden verhoogd. Het frequentie-bereik van ED-microfoons is groot en de vervorming laag.



Figuur 5/5.9 -5:
De elektrodynamische microfoon

Spanband-microfoon

In feite is de spanband-microfoon (figuur 5/5.9 -6) een speciale uitvoering van de elektrodynamische microfoon. Een zeer dunne aluminium-folie is zowel membraan als inductor. De folie bevindt zich in het magnetische veld van een permanente magneet en door het trillen wordt er een inductie-spanning in opgewekt. Uiteraard heeft zo'n microfoon een zeer lage inwendige weerstand (0,1 Ohm!), maar deze kan op de gebruikelijke manier door een aanpassings-trafo worden verhoogd. De bewegende massa is uiterst gering en het zal duidelijk zijn dat dit type microfoon een zeer brede frequentie-band heeft en lage vervorming.

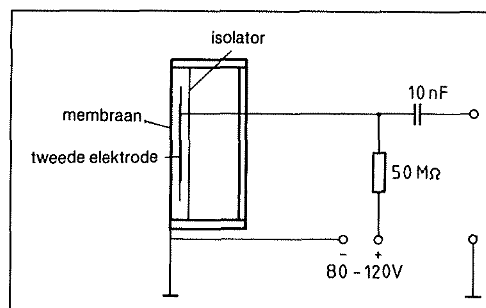


Figuur 5/5.9 -6: De spanband microfoon

Condensator-mikrofoon

Bij dit type is het membraan opgebouwd uit elektrisch geleidend materiaal en vormt één elektrode van een condensator. De tweede elektrode is vast opgesteld op geringe afstand van het membraan. Door nu een tamelijk hoge spanning (100 V) tussen de elektroden aan te leggen zal er tussen de platen een sterk elektrisch veld worden opgebouwd. Als het membraan gaat trillen verandert de grootte van dit veld en het gevolg is dat er een zeer kleine stroom door de keten gaat vloeien. Neemt men nu een tamelijk grote belastingsweerstand in deze stroom-kring op, dan zal de uiterst geringe stroom over deze weerstand een bruikbare spanningsval opwekken. Dit geluids-signaal is echter gesuperponeerd op de grote gelijkspanning en vandaar dat het noodzakelijk is een scheidings-condensator tussen te schakelen.

De condensator-microfoon heeft zeer goede eigenschappen, die echter nog verbeterd kunnen worden door de microfoon op een speciale manier te schakelen. Zoals getekend in figuur 5/5.9 -8, wordt de capaciteit van de microfoon gebruikt om de afgestemde kring op te bouwen van een LC-oscillator. Gaat het membraan trillen, dan verandert de capaciteit van de condensator en dus ook de eigen frequentie van de oscillator.

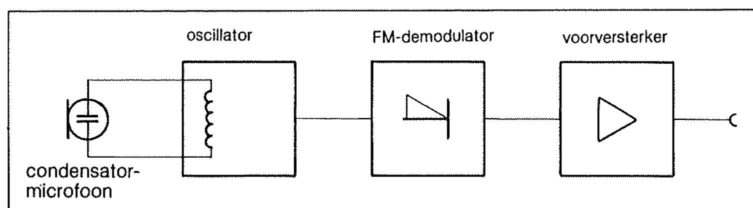


Figuur 5/5.9 -7: De condensator-microfoon

Er ontstaat een soort frequentie-modulatie, want de frequentie van de oscillator is afhankelijk van de geluids-druk, dus van het geluids-signaal! Dit FM-gemoduleerde signaal wordt in een demodulator omgezet in een laagfrequent signaal en nadien versterkt.

Dit principe wordt gebruikt in studio's.

5.9 Microfoons

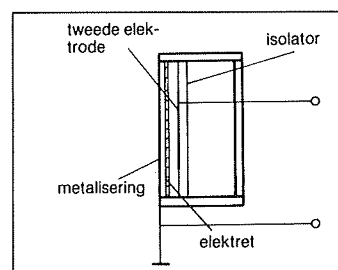


Figuur 5/5.9 -8:
De condensator-microfoon toegepast in een HF-schakeling

Elektret-microfoon

De elektret-microfoon is een speciale vorm van de condensator-microfoon. Tussen de twee elektroden van de condensator is nu echter een stukje speciale kunststof (het elektret) geplaatst. Dit materiaal heeft de eigenschap een elektrisch veld op te bouwen zonder dat een externe elektrische spanning noodzakelijk is. Ook nu is de uitgangs-impedantie zeer hoog en vaak wordt de noodzakelijke impedantie-transformator in het kapsel van de microfoon ingebouwd. Tegenwoordig gebruikt men meestal een met een FET opgebouwde spannings-volger.

Het kapsel heeft dan wel een aansluiting voor een gelijkspanning, maar deze gelijkspanning wordt alleen gebruikt voor het voeden van de buffer en is dan ook veel lager dan in het geval van een condensator-microfoon.



Figuur 5/5.9 -9: Elektret-microfoon

5.9 Microfoons

5/5.10

Systemen voor ruisonderdrukking

Inleiding

Het medium en de problemen

Bij analoge bandspeelapparatuur, dus traditionele spoel- of cassette-apparaten, moet men rekening houden met de specifieke eigenschappen van het medium, de magnetisch band. Deze wordt gemagnetiseerd met een kop en nadien met dezelfde of een andere kop en een gevoelige versterker weer uitgelezen. In principe zou dat een lineair systeem moeten zijn. De band heeft echter bepaalde eigenschappen zoals ruis en verzadiging, waardoor het lineair verlopend proces van opnemen en weergeven niet het meest ideale is.
Vandaar zijn alle goede apparaten tegenwoordig uitgerust met ruisonderdrukkers. De meeste systemen werken volgens het zogenoemde "companding"-principe, waarbij de band niet-lineair wordt opgenomen en ook niet-lineair wordt afgespeeld.
Beide niet-lineariteiten heffen elkaar op, waardoor toch een onvervormde weergave ontstaan.

Ruis

Ruis wordt gedefinieerd als een wisselspanning met volledig statistisch bepaalde frequentie- en amplitude-schommelingen.

Er bestaan verschillende soorten ruis, zoals:
- thermische ruis;
- stroomruis;
- grondruis.
- **Thermische ruis**
  Thermische ruis ontstaat doordat in elektrische weerstanden vrije elektronen aanwezig zijn. Deze worden door de warmte-energie van het materiaal in willekeurige bewegingen gebracht, de zogenoemde Brownse bewegingen. Het gevolg is dat er het ene moment aan de ene kant van de weerstand een overschot aan elektronen kan ontstaan en een volgend moment een tekort. Deze elektronenbewegingen veroorzaken dus kleine wisselspanningen over de weerstand, die in LF-apparatuur een duidelijk hoorbaar sissend achtergrondgeluid veroorzaken. De thermische ruis is wiskundig volledig te definiëren en bedraagt bij 20 °C 18 nV per Ω^{-1}.
- **Stroomruis**
  Stroomruis ontstaat als door een weerstand een gelijkstroom vloeit. Dit verschijnsel wordt veroorzaakt doordat de vrije elektronen niet in rechte lijnen door de weerstand voortbewegen, maar volgens tamelijk willekeurige banen. De vrije elektronen botsen immers vaak tegen de gebonden elektronen van de atomen van de weer-

stand en worden daardoor afgebogen van hun rechte weg. Deze ruis is recht evenredig met de grootte van de weerstand en de grootte van de stroom.

- **Grondruis**
  Grondruis is een verschijnsel dat alleen optreedt bij geluidsdragers, zoals platen en magnetische banden. Deze ruis ontstaat doordat het materiaal van deze dragers op microscopisch kleine schaal alles behalve glad is. Het gevolg is dat de opneemelementen (naald, kop) kleine variaties in verplaatsing of magnetische flux ondergaan en deze variaties omzetten in kleine ruisspanningen.

De gevolgen van de ruis

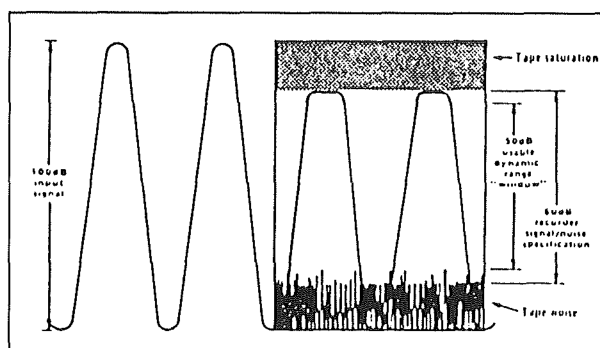
Het gevolg van al deze ruisverschijnselen is dat zwakke signalen dreigen te verdrinken in de achtergrondruis. Heeft een band een totale eigen ruis op een niveau van -60 dB en gaat men op deze band een geluidssignaal door met een eigen niveau van -70 dB opnemen, dan zal het signaal gemaskeerd worden door de ruis en hoort men nauwelijks wat van het geluid.

Verzadiging

Een tweede verschijnsel dat bij bandspeelapparatuur een belangrijke rol speelt is de verzadiging. Magnetische banden hebben een bepaald maximaal signaalniveau dat zij zonder vervorming kunnen opnemen. Dit wordt veroorzaakt door de magnetische verzadiging van het bandmateriaal. Het gevolg is dus dat men de op te nemen signalen moet begrenzen, zodat de topwaarden in het signaal nooit groter worden dan de verzadigingswaarde van de band.

Samenvatting

In figuur 5/5.10-1 zijn de praktische gevolgen van de ruis en de verzadiging samengevat als men een sinusvormig signaal op een magnetische band opneemt. Men wil een signaal met een dynamiek van 100 dB opnemen. Het bandje heeft echter slechts een bereik van 50 dB. De onderste 20 dB van de signaaldynamiek gaat verloren in de eigen ruis van het bandje en de weergaveschakelingen.



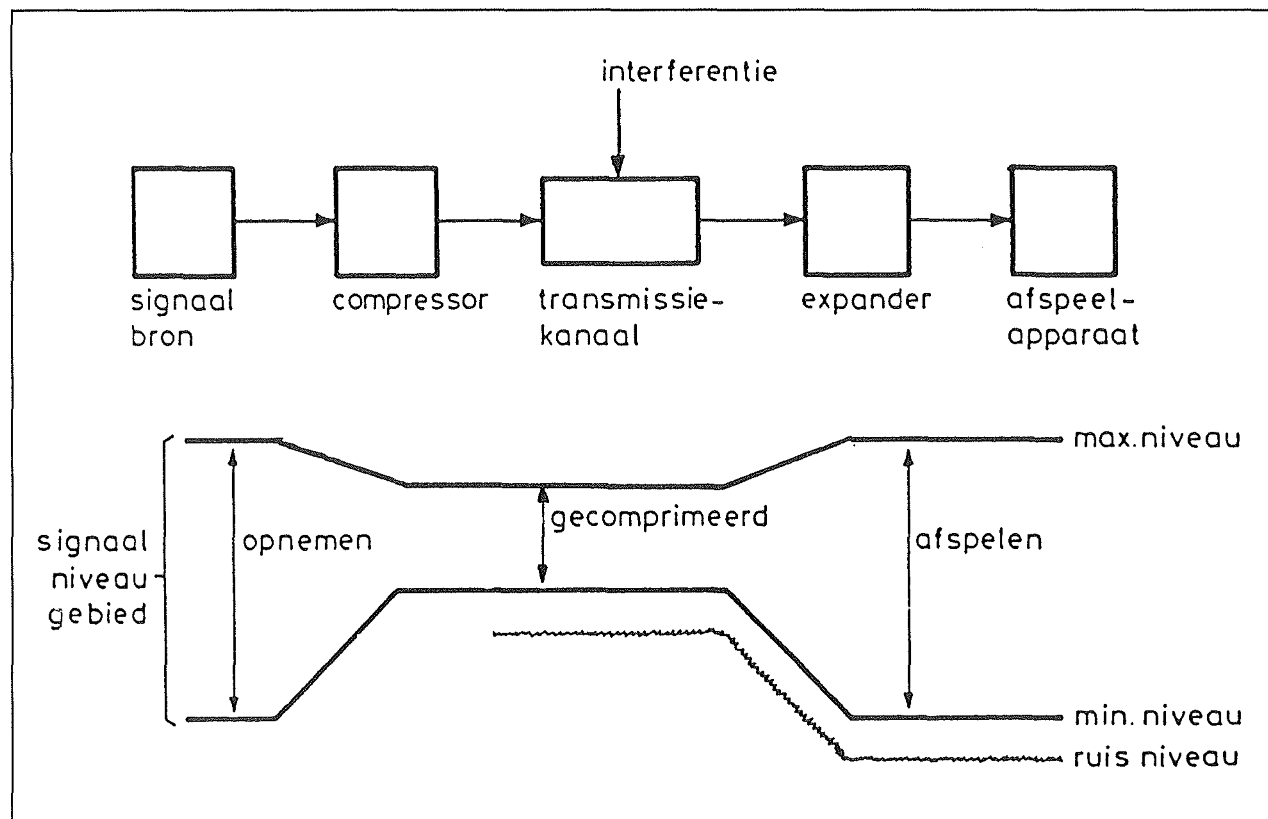
Figuur 5/5.10-1: De praktische gevolgen van de verschijnselen "ruis" en "verzadiging" bij het opnemen van een sinusvormig signaal op een band.

De bovenste 20 dB van het signaal zal vervormen, doordat dit deel van het signaal de magnetische laag van het bandje in verzadiging stuurt.

Companders

Een oplossing voor deze problemen wordt gegeven door het principe van "companding". Het woord "compander" is een samentrekking van de twee woorden "***comp***ressor" en "exp***ander***". Een compander is dus een schakeling, waarmee men zowel signalen kan comprimeren (de dynamiek verkleinen) als kan expanderen (de dynamiek vergroten). Iedereen is, zonder het te weten, vertrouwd met het begrip companding. Iedereen die een betere cassette-recorder heeft kent immers de begrippen "Dolby-B" en "Dolby-C".

5.10 Systemen voor ruisonderdrukking



Figuur 5/5.10-2: Het principe van companding.

Twee compander-systemen, die zich kunnen verheugen in een internationale standaardisatie in compact cassette apparatuur. Naast deze Dolby-systemen hebben echter ook diverse andere fabrikanten compander-systemen ontwikkeld. De meeste van deze systemen zijn echter in de vergetelheid geraakt, maar er zijn nog wel apparaten in gebruik die met deze systemen zijn uitgerust.
Bovendien moet vermeld worden dat niet alle ruisonderdrukkingssystemen die in cassette-recorders werden en worden gebruikt echte companders zijn. Het door Philips ontwikkelde DNL-systeem werkt bijvoorbeeld op een andere manier.

Principiële werking van companders
De fundamentele werking van een compander is getekend in figuur 5/5.10-2. Bij het opnemen van het signaal op de band wordt het signaal gecomprimeerd met een compressor. De dynamiek van 100 dB wordt kunstmatig teruggebracht tot 50 dB. Kleine ingangssignalen worden versterkt, grote signalen worden verzwakt. Het gevolg is dat zeer kleine signalen, die zouden verdrinken in de eigen ruis van de band, nu een amplitude krijgen die ver boven dat ruisniveau ligt. Grote signalen, die de band zouden verzadigen, worden nu zoveel verzwakt dat van verzadiging geen sprake is. Het zal duidelijk zijn dat dit géén lineair procédé is en dat er heel wat signaalvervorming wordt geïntroduceerd! Bij het weergeven van het opgenomen signaal wordt het signaal echter weer geëxpandeerd met een expander. De opgenomen dynamiek van 50 dB wordt weer vergroot tot de oorspronkelijke 100 dB.

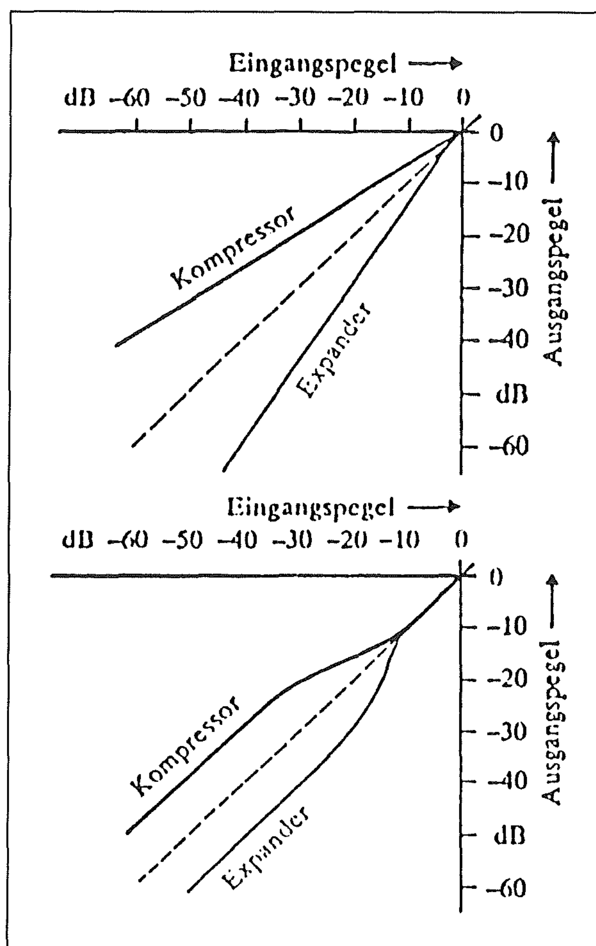
5.10 Systemen voor ruisonderdrukking

Bij het afspelen van het voorbewerkte bandje wordt een expander tussen de kopversterker en de eindversterker geschakeld. Deze zal de beperkte dynamiek die op het bandje werd opgenomen weer vergroten. De sterke passages worden dus weer versterkt, de zwakke passages verzwakt. Bij dit verzwakken wordt uiteraard ook de eigen ruis van het bandje verzwakt. Op deze manier blijft de ruis ver onder het minimale niveau van het opgenomen signaal. Ook dit procédé is een niet-lineaire signaalbewerking. Maar door de karakteristieken van de compressor en de expander precies aan elkaar aan te passen kan men het totale companding-procédé wél lineair maken. Afhankelijk van het compander-systeem dat wordt toegepast kan een ruisreductie van 3 dB tot meer dan 25 dB worden verkregen!

Eigenschappen van compander-systemen

De compander-karakteristiek

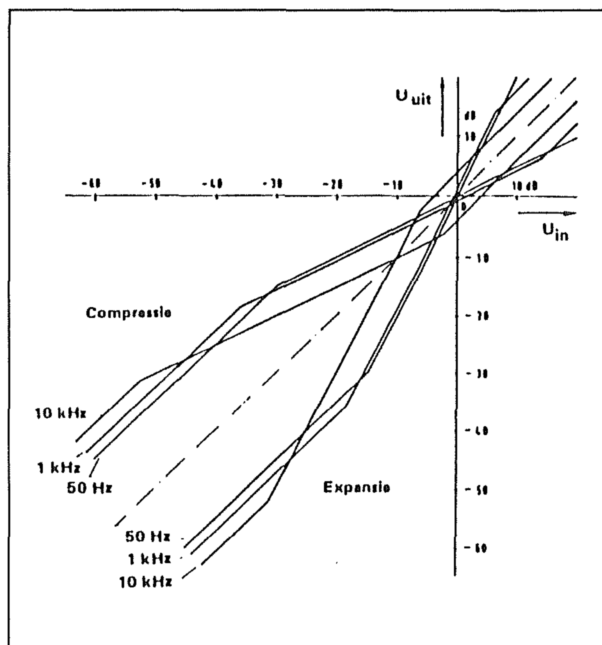
Een belangrijk gegeven van een compander-systeem is de compander-karakteristiek. Twee voorbeelden van een dergelijke karakteristiek zijn getekend in figuur 5/5.10-3. Deze karakteristiek geeft het verband tussen de dynamiek van het ingangssignaal en de dynamiek van het signaal dat naar de band wordt gestuurd. Beide assen worden geijkt in dB. De bovenste grafiek is een voorbeeld van een lineaire karakteristiek. De compressor werkt reeds bij grote signalen (rond de 0 dB) en de compressie-factor is onafhankelijk van het niveau van het ingangssignaal. De onderste grafiek geeft een voorbeeld van een niet-lineaire karakteristiek. Nu werk de compressor niet bij grote signalen, maar wordt maar eerst actief als het ingangssignaal gedaald is tot ongeveer -10 dB. Het zal duidelijk zijn (dat blijkt ook uit de grafieken) dat de expander een identiek gevormde karakteristiek moet hebben! Alleen dan zal het niet-lineaire proces uiteindelijk een lineaire weergave tot gevolg hebben.



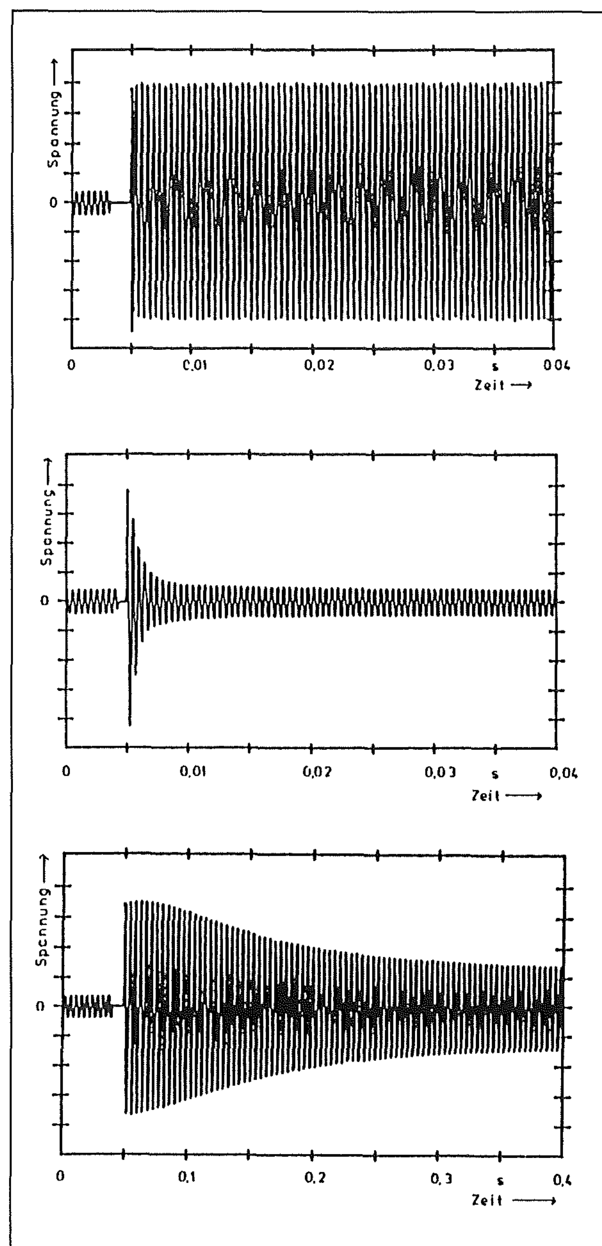
Figuur 5/5.10-3: Twee voorbeelden van compander-karakteristieken.

Beide karakteristieken zijn voorbeelden van systemen die frequentie-onafhankelijk werken. De grafiek geldt voor alle frequenties in het signaal. Er zijn echter ook compander-systemen die frequentie-afhankelijk werken.

5.10 Systemen voor ruisonderdrukking



Figuur 5/5.10-4: Een voorbeeld van een frequentie-afhankelijke compander-karakteristiek.



Figuur 5/5.10-5: Het begrip aanspreektijd grafisch toegelicht.

In figuur 5/5.10-4 is de compander-karakteristiek van een dergelijk systeem getekend. Uit de grafiek blijkt dat het beschouwde systeem het audio-spectrum in vier gebieden splitst:

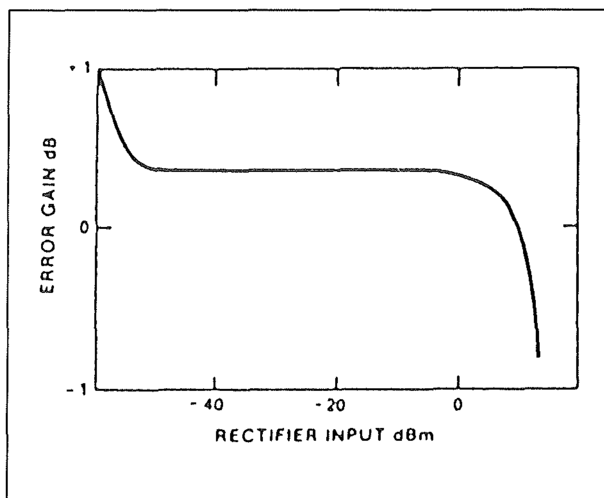
- lager dan 50 Hz;
- tussen 50 Hz en 1 kHz;
- tussen 1 kHz en 10 kHz;
- groter dan 10 kHz.

Voor ieder gebied wordt een eigen compressie/expansie-karakteristiek toegepast. Deze systemen zijn ontwikkeld als gevolg van fysiologische onderzoeken naar de gevoeligheid van het menselijk gehoor. Hieruit blijkt dat de mens niet voor iedere frequentie even gevoelig is. Het is dus te grof om het gehele audiogebied aan één standaard compressiefactor te onderwerpen. De vier banden houden rekening met de gevoeligheidscurve van het gehoor en passen de drempels aan, waarbij de compressie en expansie in werking treedt.

Aanspreek- en afvaltijden

Deze tijden zijn een maat voor de snelheid waarmee het compander-systeem reageert op plotselinge spanningssprongen op de ingang. Het begrip "aanspreek-tijd" wordt grafisch toegelicht in de grafieken van figuur 5/5.10-5.

In de bovenste grafiek is het ingangssignaal van een compressor getekend. Dit signaal maakt opeens een spanningssprong van +20 dB. In de twee onderste grafieken is weergegeven hoe twee verschillende compander-systemen op een dergelijke gebeurtenis reageren. De compander van de middelste grafiek reageert zeer snel en reduceert vrijwel onmiddellijk de piek tot de gecomprimeerde waarde.
De compander van de onderste grafiek reageert veel trager, met als gevolg dat er toch nog behoorlijke signaalvervormingen door verzadiging van het medium kunnen ontstaan. Eenzelfde verhaal geldt uiteraard als het ingangssignaal opeens met -20 dB kleiner wordt. Beide systemen hebben specifieke voor- en nadelen, die bij luistertests duidelijk naar voren komen. De ene fabrikant zweert bij snelle reactie, de andere bij trage.
De aanspreek- en afvaltijden zijn in de specificaties van de verschillende systemen uiteraard nauwkeurig vastgelegd en bepalen voor een deel de verschillen in luisterwaarneming tussen de systemen.



Figuur 5/5.10-6: De nauwkeurigheid van een compander-systeem.

De nauwkeurigheid
Een derde belangrijke specificatie van compander-systemen is de nauwkeurigheid waarmee het systeem werkt. Deze specificatie geeft aan hoe nauwkeurig het systeem reageert op verschillende waarden van de ingangsspanning. In figuur 5/5.10-6 is deze nauwkeurigheid in grafiek gebracht. Het zal wel duidelijk zijn dat de nauwkeurigheid vooral bij het verwerken van kleine en grote signalen van het rechte pad afwijkt.
Het kwaliteitsverschil tussen de verschillende systemen wordt in belangrijke mate bepaald door de nauwkeurigheid.

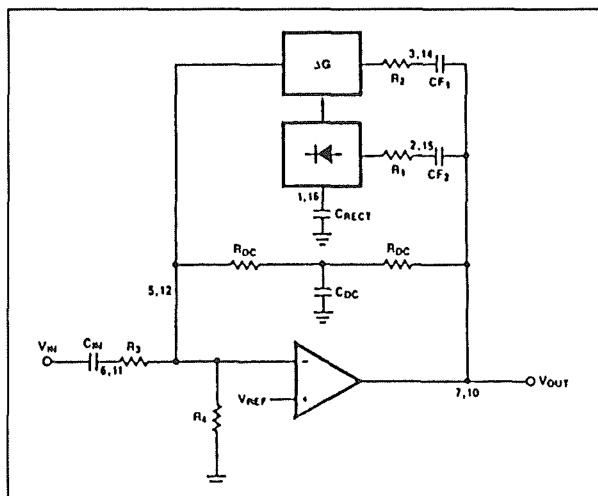
Principes van companding

Inleiding
Een compander bestaat uit twee complementaire blokken: een compressor en een expander. Gelukkig blijkt dat men deze beide schakelingen met drie dezelfde elektronische blokken kan uitvoeren:
- een gelijkrichter;
- een schakeling met een variabele, extern te besturen weerstand;
- een operationele versterker.

Basisschema van een compressor
Het basisschema van een compressor is getekend in figuur 5/5.10-7.
Het ingangssignaal wordt aangeboden aan de ingang van de operationele versterker. Deze is geschakeld als teruggekoppelde inverterende versterker. De versterking wordt dus bepaald door de verhouding van de weerstand tussen de ingang en de inverterende ingang van de op-amp en de weerstand tussen de uitgang en de inverterende ingang van de op-amp. In die terugkoppeling van uitgang naar in-

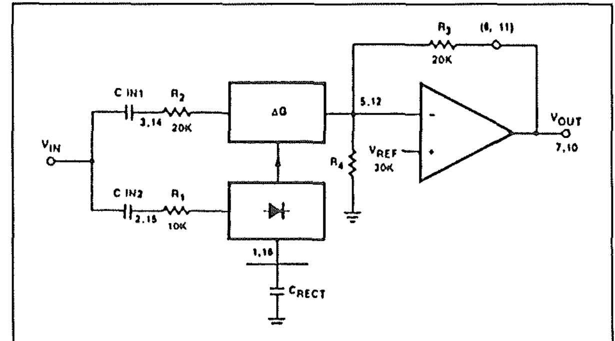
5.10 Systemen voor ruisonderdrukking

gang is de schakeling met variabele weerstand ΔG opgenomen. Dit blok wordt gestuurd door de uitgang van de gelijkrichter. De gelijkrichter wordt op zijn beurt weer gestuurd door de uitgangsspanning van de compressor.
De werking is als volgt. Als de ingangsspanning klein is zal ook de uitgangsspanning klein zijn. De gelijkrichter levert dus een kleine gelijkspanning af en de weerstand van ΔG is groot. De versterking van de schakeling wordt nu alleen bepaald door de verhouding van de weerstanden R3 en Rdc. Als de ingangsspanning stijgt zal ook de uitgangsspanning stijgen. De gelijkrichter levert nu meer stuurspanning voor ΔG af, zodat de weerstand ervan gaat dalen. Deze weerstand is parallel geschakeld over de twee weerstanden Rdc. Het gevolg is dat de totale terugkoppelweerstand daalt en de versterking van de trap afneemt. Op deze manier ontstaat dus een lineaire compressor.



Figuur 5/5.10-7: Het basisschema van een compressor.

Basisschema van een expander
Het basisschema van een expander is getekend in figuur 5/5.10-8.



Figuur 5/5.10-8: Het basisschema van een expander.

De drie basisblokken zijn nu op een iets andere manier geschakeld. De schakeling met variabele weerstand ΔG staat in de ingangskring van de operationele versterker. De gelijkrichter wordt gestuurd door het ingangssignaal. Als dit signaal klein is levert de gelijkrichter een kleine gelijkspanning. De weerstand van ΔG is groot en de versterking van de trap klein. Als de ingangsspanning stijgt zal de gelijkrichter meer stuurspanning aan ΔG leveren. De weerstand daalt en de versterking van de trap neemt toe. Op deze manier wordt het ingangssignaal lineair geëxpandeerd.

Ruisonderdrukkingssystemen

Even veel systemen als fabrikanten!
Wie de vakliteratuur napluist komt snel tot de ontdekking dat zo ongeveer iedere halfgeleiderfabrikant of iedere naambekende leverancier van Hifi-apparatuur wel eens ooit een ruisonderdrukkingssysteem heeft ontwikkeld. De meeste van die systemen werken volgens het companderprincipe.

De bekendste systemen

De systemen die het commercieel gehaald hebben en die men nu nog steeds in analoge bandspeelapparatuur kan terug vinden zijn:
- DNL (géén compander);
- Dolby (wél compander);
- DNR (géén compander);
- TelCom (wél compander);
- HighCom (wél compander);
- DBX (wél compander).

In de volgende subhoofdstukken zullen de principiële werking van die systemen worden besproken en enige praktische voorbeeldschakelingen worden gepubliceerd.

DNL

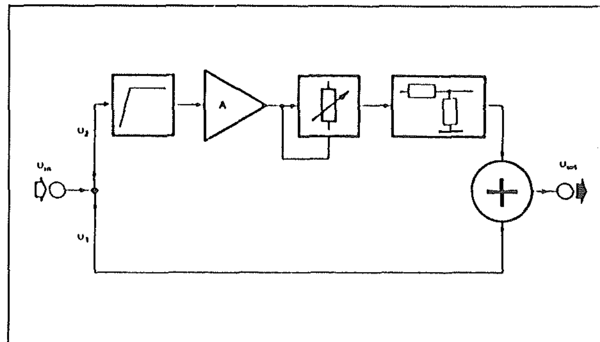
Een Philips-systeem

Dit door Philips ontwikkelde ruisonderdrukkingssysteem is in feite geen echt compander-systeem. Er wordt namelijk niets gedaan bij het opnemen van de band.

"Dynamic Noise Limiting", zoals het systeem is genoemd, is een gestuurde bandbreedte begrenzer die werkt als ruisonderdrukker en alleen actief is bij de weergave van een bandje. Het systeem is jarenlang ingebouwd in de goedkopere cassette-deck's die door Philips in de handel werden gebracht. Het systeem is echter verouderd en in nieuwe apparatuur zal men er tevergeefs naar zoeken. Wél was DNL zeer populair bij hobby-isten, omdat het systeem eenvoudig is en gemakkelijk nagebouwd kan worden.

De werking van DNL

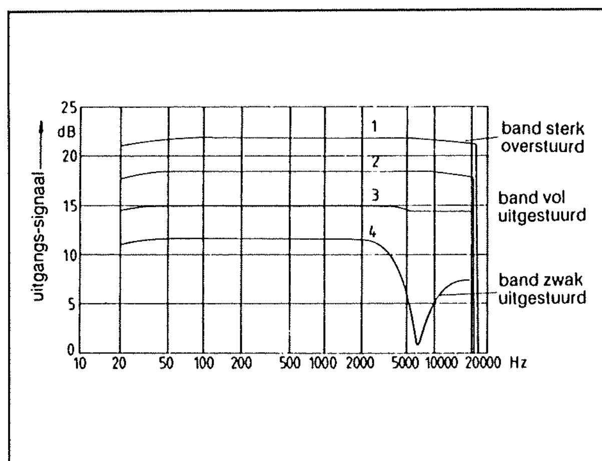
Het blokschema van het systeem is getekend in figuur 5/5.10-9.



Figuur 5/5.10-9: Het principe van DNL.

Het principe gaat uit van het algemeen bekende gegeven dat bandruis alleen storend is als er weinig hoogfrequente signalen in geluid zitten. Vandaar dat de bandbreedte van het cassette-deck alleen wordt begrensd als er weinig hoge frequenties in het signaal aanwezig zijn. De storende ruis wordt dan door de begrenzing van de bandbreedte gereduceerd. Als er veel hoogfrequente signalen in de audio aanwezig zijn, wordt de bandbreedte niet of minder begrensd. Uiteraard betekent dit dat de hoge tonen ook verzwakt worden. Vreemd genoeg is uit luisterproeven gebleken dat dit minder storend wordt ervaren dan een weergave met duidelijk hoorbare ruis. Men kiest dus van twee kwaden de minst erge! Het ingangssignaal wordt in twee componenten opgesplitst. Het signaal U1 gaat rechtstreeks naar een sommeerversterker. Het signaal U2 gaat naar een laagdoorlaat filter met een afsnijfrequentie van 4 kHz. Nadien wordt het versterkt en door een spanningsafhankelijke verzwakker gestuurd. Het uitgangssignaal gaat naar de tweede ingang van de sommeerversterker. Het systeem wordt zo afgeregeld dat een signaal met een frequentie van 4 kHz, waarvan de sterkte 38 dB beneden een bepaald referentieniveau ligt, even groot als U1 aan de menger, maar dan wel in tegenfase, wordt aangeboden.

5.10 Systemen voor ruisonderdrukking



Figuur 5/5.10-10: De frequentie-karakteristiek van het DNL-systeem.

Het gevolg is dat de ruiscomponenten elkaar opheffen.

Specificaties van het DNL-systeem

Met het DNL-systeem is een beperkte ruisonderdrukking te bereiken. De signaal/ruis-afstand van een weergavesysteem verbetert met ongeveer 3 dB. Dit lijkt weinig, maar is toch goed hoorbaar!

De frequentie-karakteristiek van het DNL-systeem is getekend in figuur 5/5.10-10. Zoals uit de werking te verwachten was, gaat deze minder lineair verlopen naarmate het ingangssignaal kleiner is.

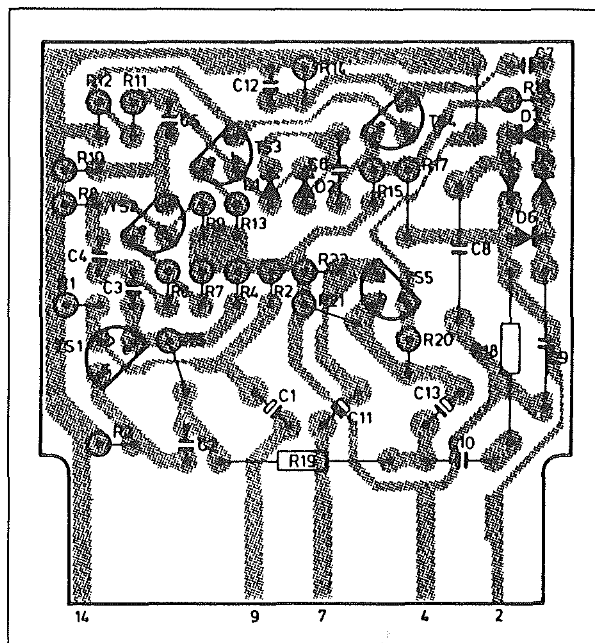
Figuur 5/5.10-11: Het intern schema van de DNL-module die door Philips werd ontwikkeld.

Bij een zwak uitgestuurde band krijgt men een duidelijke dip in de weergave rond 6 kHz. Bij een vol uitgestuurde band verloopt de karakteristiek recht.

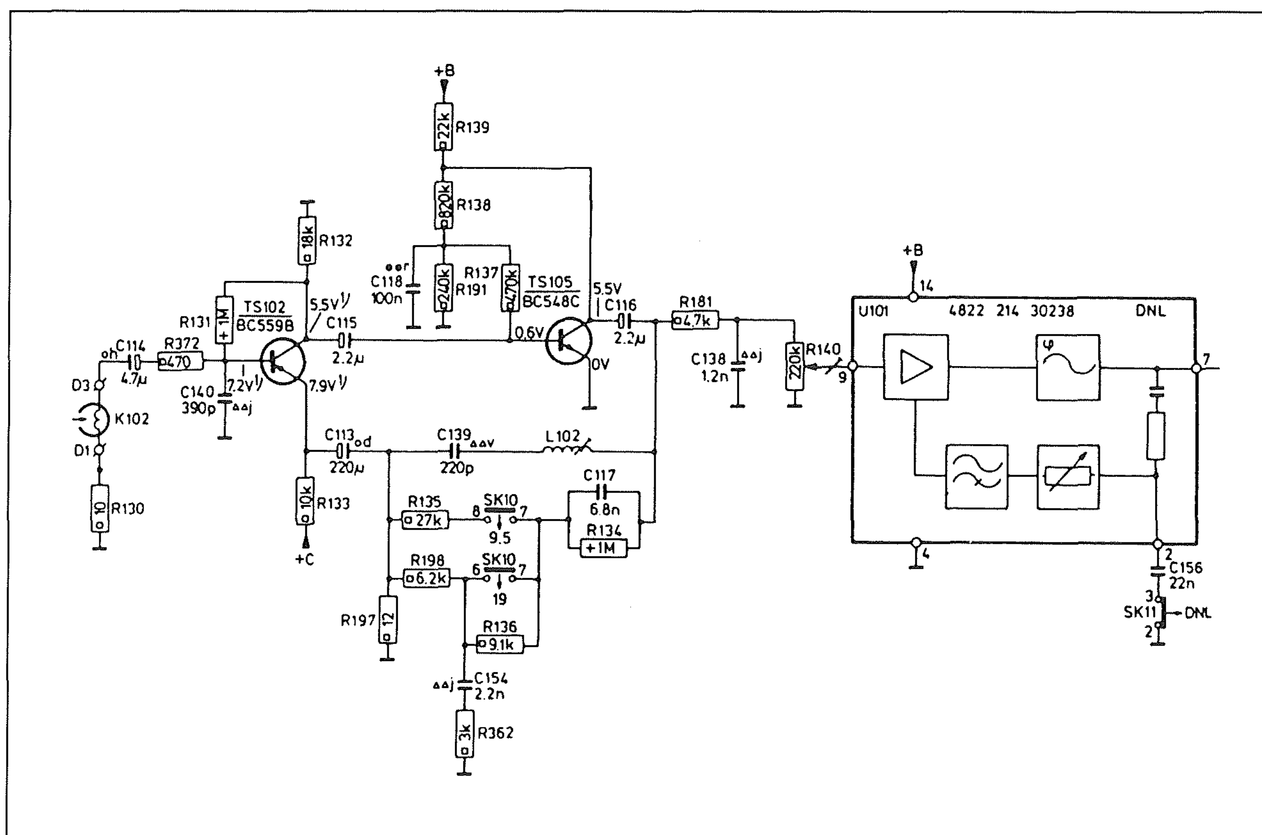
DNL-module

Philips heeft de elektronica voor DNL op een module ondergebracht, die men nog in vele oudere cassette-recorders kan aantreffen. Het inwendig schema van deze module is getekend in figuur 5/5.10-11.

De schakeling rond transistor TS1 is een buffertrap, waaruit de twee signaalwegen ontspruiten. Het bovenste signaal gaat naar de menger rond transistor TS5, het onderste signaal gaat naar het filter rond TS2. De spanningsafhankelijke verzwakking ontstaat door de dioden.

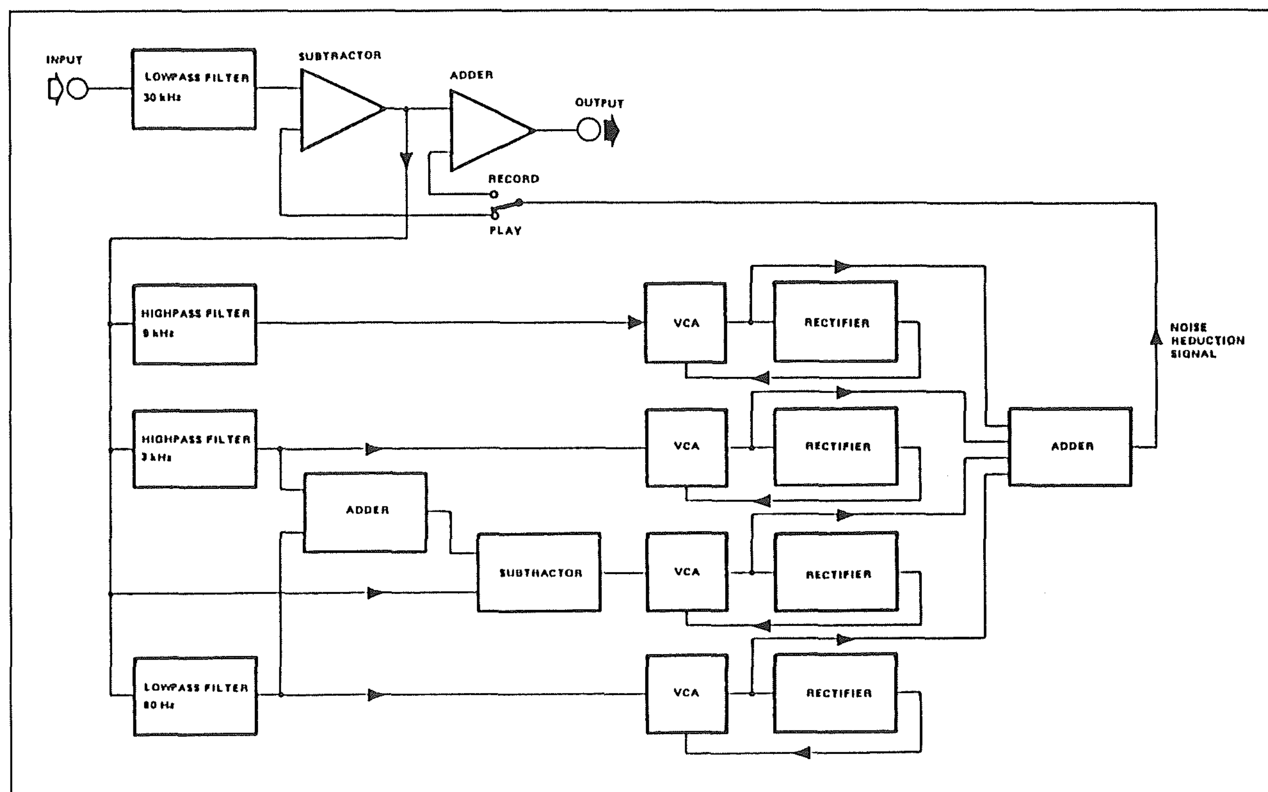


Figuur 5/5.10-12: Het printplaatje van het DNL-module.



Figuur 5/5.10-13: De praktische schakeling van een cassette-recorder met DNL, de N-4506 van Philips.

5.10 Systemen voor ruisonderdrukking



Figuur 5/5.10-14: Het blokschema van het Dolby-A systeem.

Zoals bekend heeft een diode geen constante weerstand, maar een weerstand die afhankelijk is van de stroom die door de diode wordt gestuurd. Op deze manier kan men de versterking van een trap regelen, zij het dat er door de niet-lineaire karakteristiek van de diode wel wat signaalvervorming wordt geïntroduceerd. Het signaal wordt via de weerstand R18 en de condensator C10 aan de ingang van de menger aangeboden. Pen 2 van de module is de ON/OFF-pen. Door deze ingang naar de massa kort te sluiten kan de werking van het DNL-module worden uitgeschakeld. Het onderste signaal wordt dan immers kortgesloten naar de massa, zodat het de menger niet bereikt. Het module werkt dan als ordinaire lineaire signaalversterker. In figuur 5/5.10-12 is het printplaatje van het module, dat officieel de bestelcode 4822.214.30238 had, getekend. Het module heeft maar vijf aansluitpunten, namelijk massa, positieve voeding, stuuringang, signaal ingang en signaal uitgang. In figuur 5/5.10-13 is het schema van één kanaal van de recorder N-4506 van Philips getekend. Dit apparaat was uitgerust met het DNL-module. Uit het schema blijkt duidelijk hoe het module achter de voorversterker van de weergavekop wordt opgenomen.

Dolby

Inleiding

De Amerikaanse Dolby Laboratories, specialisten op het gebied van professionele audio-elektronica, hebben reeds in het jaar 1966 een ruisonderdrukkingssysteem ontwikkeld. Dit systeem, Dolby-A, zat vrij

5.10 Systemen voor ruisonderdrukking

ingewikkeld in elkaar en was uitsluitend bedoeld voor de professionele markt van geluidsstudio's en radio- en TV-stations. Later ontwikkelde Dolby twee veel eenvoudiger uitvoeringen van het professionele systeem, die respectievelijk Dolby-B en Dolby-C werden genoemd. Deze compander-systemen hebben zich ontwikkeld tot een internationale standaard in de cassette-wereld. De meeste voorbespeelde cassettes die men koopt, zijn in de studio bewerkt met Dolby-B of -C. Iedere goede cassette-speler is tegenwoordig voorzien van een Dolby ruisonderdrukker, terwijl men meestal nog een schakelaartje heeft, waarmee men het apparaat kan omschakelen van Dolby-B naar Dolby-C.

Dolby-A

Het Dolby-A systeem is een echte frequentie-afhankelijke compander, waarvan het blokschema in figuur 5/5.10-14 is getekend. Dolby-A verdeelt het volledige audiospectrum in vier banden, die ieder een compressor of expander sturen. Het ingangssignaal wordt eerst door middel van een scherp laagdoorlaat filter met een afsnijfrequentie van 30 kHz ontdaan van eventuele HF-storingen. Nadien gaat het naar twee in cascade geschakelde optelschakelingen, waarvan de tweede ingang gestuurd wordt door het signaal dat door de compressor of expander wordt geleverd. Omdat een van de optelschakelingen inverterend werkt, zal de schakeling dus ofwel als compressor ofwel als expander werken.

Het volstaat het teruggekoppelde signaal door middel van een schakelaartje ofwel aan de eerste, ofwel aan de tweede versterker aan te bieden. Door middel van drie filters, een optelschakeling en een aftrekschakeling wordt het audiospectrum opgesplitst in vier gebieden:

- hoger dan 9 kHz;
- tussen 3 kHz en 9 kHz;
- tussen 80 Hz en 3 kHz;
- lager dan 80 Hz.

Deze vier banden worden vervolgens individueel aan een compander-schakeling aangeboden, waarbij het geheim van het systeem uiteraard zit in de juiste selectie van de componenten voor iedere band. Op deze manier wordt de breedbandige ruis dus op vier verschillende manieren aangepakt. De uitgangen van de companders gaan naar een menger, het uitgangssignaal wordt teruggekoppeld naar een van de twee ingangsversterkers.

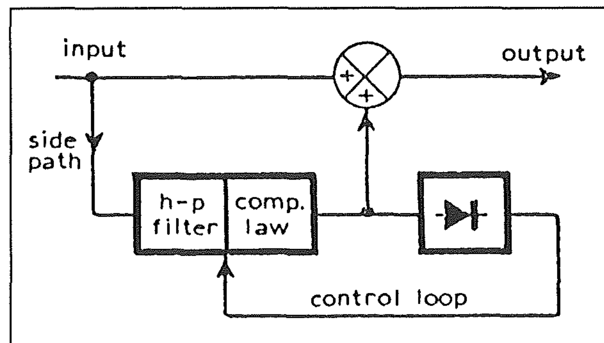
Ondanks het ingewikkelde blokschema geeft het Dolby-A systeem een gemiddelde verbetering van de signaal/ruisverhouding van slechts 10 dB.

Dolby-B

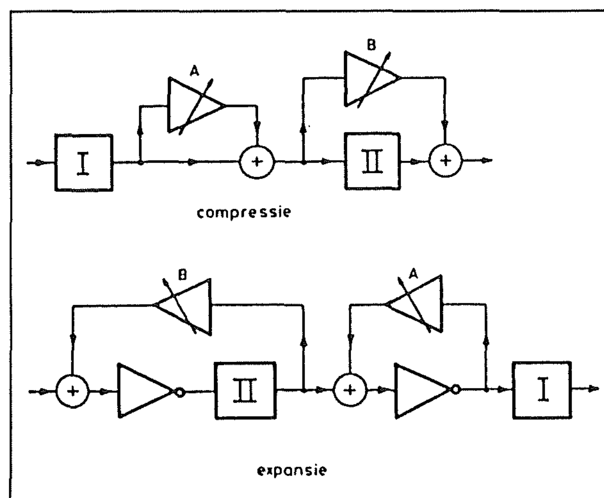
Toen de cassette-recorder een massaproduct werd besefte men bij Dolby Laboratories dat er een immens grote markt braak lag voor een goedkoop en goed werkend compander-systeem. Dolby-A was echter veel te complex en te duur voor inbouw in goedkope recorders. Men heeft toen een heen eenvoudig compandersysteem ontwikkeld, Dolby-B, dat een wereldwijde standaard is geworden en in ieder goed cassette-deck is ingebouwd. Dolby-B gaat uit van het gegeven dat ruis van cassettebandjes een specifiek spectrum heeft als gevolg van de smalle band, het gebruikte oxyde en de dunne laag.

De ruis zit voornamelijk in het gebied boven 1 kHz. Vandaar dat Dolby-B alleen het frequentiegebied boven 1 kHz in een compander-lus opneemt en alle frequenties daaronder ongehinderd doorlaat. Het gevolg is dat het blokschema van Dolby-B, getekend in figuur 5/5.10-15, er zeer eenvoudig uitziet.

5.10 Systemen voor ruisonderdrukking



Figuur 5/5.10-15: Het blokschema van Dolby-B.



Figuur 5/5.10-16: Het blokschema van Dolby-C.

Het ingangssignaal gaat naar een menger en naar een hoogdoorlaat filter met een afsnijfrequentie van 1 kHz. Het uitgangssignaal van dit filter wordt aan de compander-lus aangeboden. Ondanks de eenvoud van het systeem heeft Dolby-B toch een verbetering van 10 dB in de S/R-verhouding tot gevolg.

Dolby-C

Om te verhinderen dat concurrerende systemen de marktpositie van Dolby zouden aantasten werd later een verbeterde versie van Dolby-B op de markt gebracht onder de naam Dolby-C. Dolby-C, zie figuur 5/5.10-16, bestaat in feite uit twee Dolby-B systemen die in cascade zijn geschakeld. Daarnaast werden echter enige verfijningen aangebracht die zich bevinden in de blokken die met I en II zijn aangeduid.

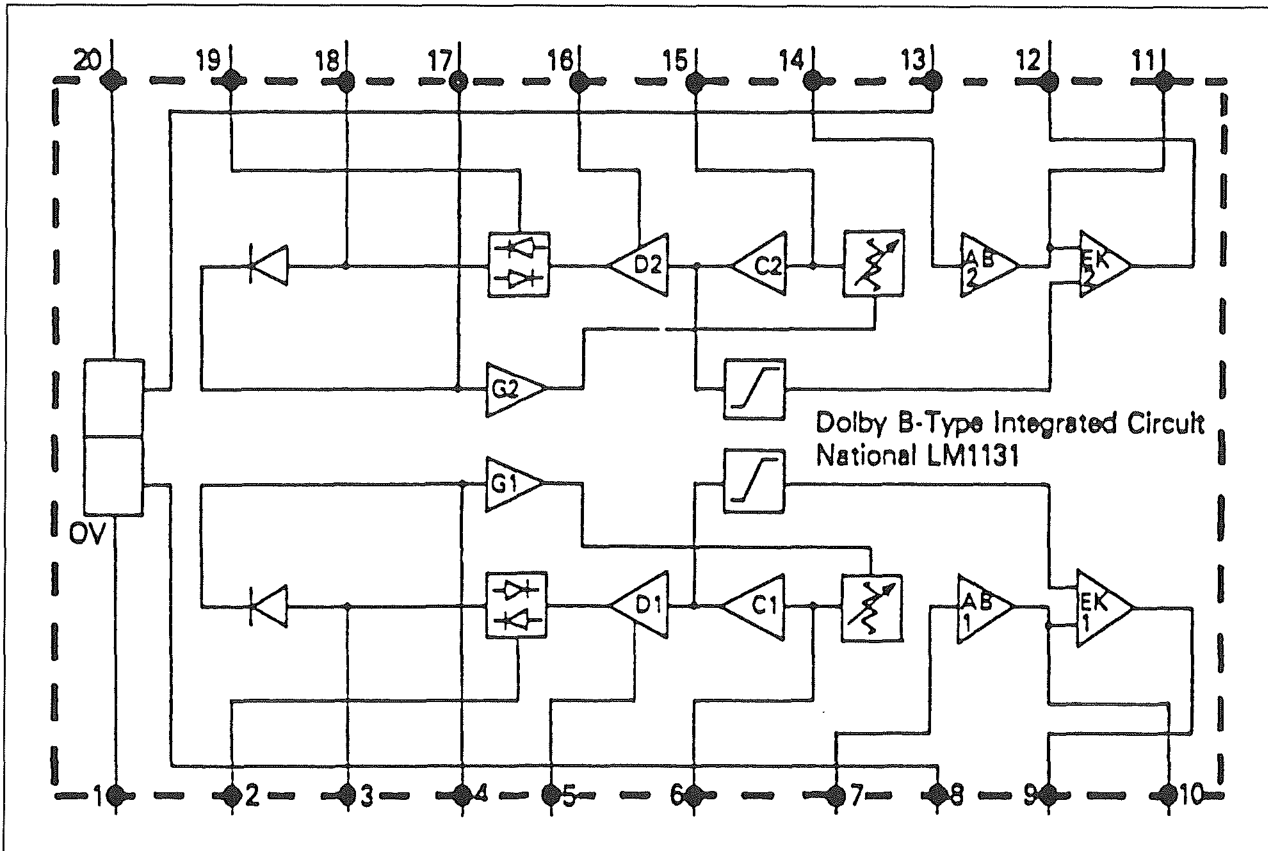
- **Spectral skewing**
  Blok I is de zogenoemde "spectral skewing". Dit blok is in feite het geheim van de goede werking van het systeem. De schakeling in dit blok zorgt er voor dat bij andere compander-systemen optredende hoorbare afwijkingen, als gevolg van de niet-gestandaardiseerde frequentie-karakteristiek van cassettedeck's, worden gecompenseerd. In consumer-apparatuur kan de frequentie-karakteristiek van een deck nogal verschillen als gevolg van vervuilde koppen, niet tijdig demagnetiseren van de koppen, kopafwijkingen en het door elkaar gebruiken van verschillende bandsoorten. Blok I bekijkt in feite het reële spectrum van het apparaat en past de werking van het compander-systeem hierop aan.
- **Overshoot suppressor**
  Blok II bevat een anti-verzadigingsnetwerk, "overshoot suppressor" genoemd, dat alleen bij sterke signalen in werking treedt en de magnetische verzadiging van het bandmateriaal voorkomt.

Dolby-C heeft een maximale S/R-verbetering van ongeveer 20 dB en is even succesvol geworden als zijn voorganger. De meeste cassette-recorder hebben tegenwoordig een omschakelaar, waarmee men kan omschakelen tussen Dolby-B en Dolby-C.

Speciale IC's

Door het grote commerciële succes van Dolby-B en -C is een aantal IC-fabrikanten op het voor de hand liggend idee gekomen speciale Dolby-IC's te ontwerpen.

5.10 Systemen voor ruisonderdrukking



Figuur 5/5.10-17: De aansluitgegevens en het intern blokschema van de LM 1131.

Dat kan echter alleen maar na toestemming van de Dolby Laboratories en onder uitdrukkelijke voorwaarde dat de IC's alleen gebruikt worden in zelf gefabriceerde commerciële apparatuur of geleverd worden aan fabrikanten van dergelijke apparatuur. De IC's mogen dus niet in de vrije verkoop worden gebracht. In de volgende paragraafjes worden enige Europese en Japanse Dolby-B en -C IC's, die vaak in cassette-recorders worden toegepast, in het kort besproken.

De LM 1131

De LM 1131 is een stereo ruisprocessor, die door National Semiconductor, tegenwoordig afgekort tot NatSemi, werd ontwikkeld en die werkt volgens het Dolby-B principe.

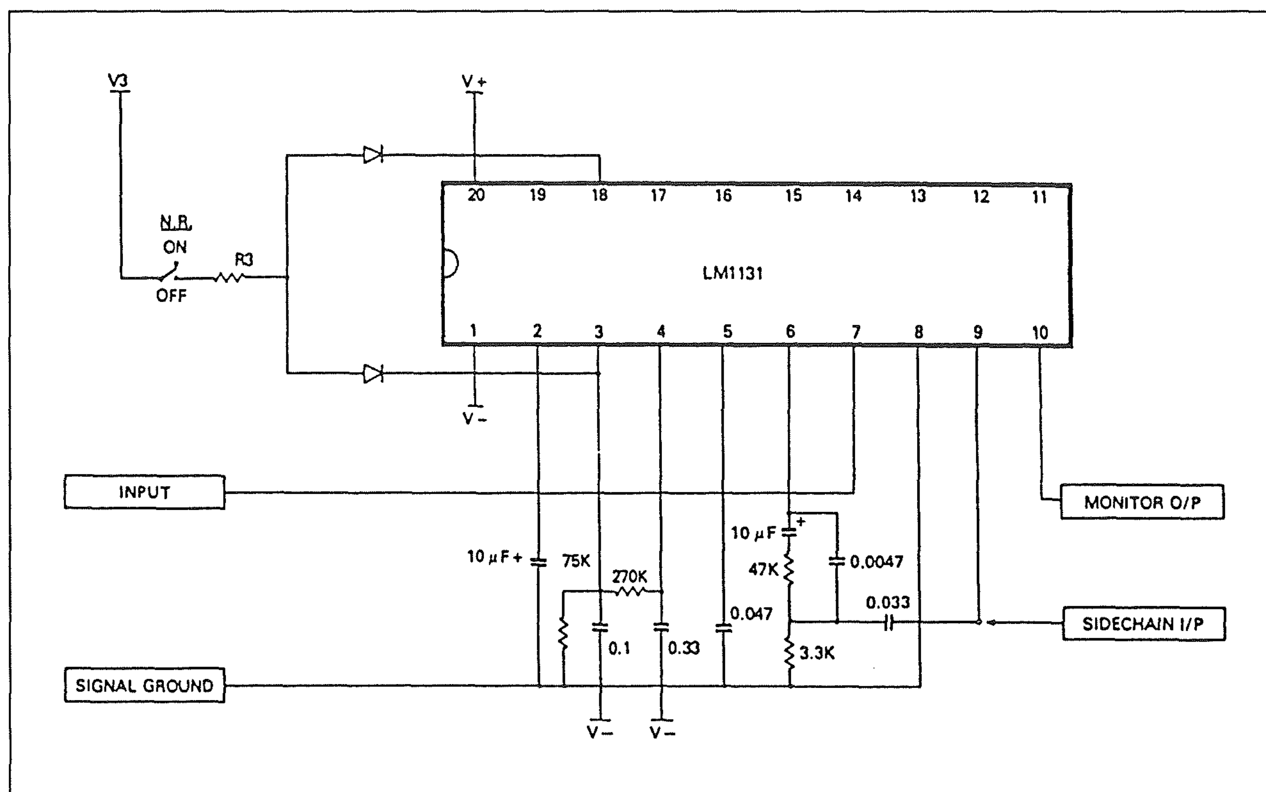
De in een 20-pens DIL-behuizing ondergebrachte schakeling moet symmetrisch gevoed worden. Zoals uit de aansluitgegevens van figuur 5/5.10-17 blijkt, zitten de aansluitingen van het ene kanaal keurig gegroepeerd aan de linker kant van het IC en deze van het tweede kanaal aan de rechter kant.

De positieve voeding wordt aangesloten op pen 20, de negatieve op pen 1. De pennen 8 en 13 vormen de signaalmassa's. De door NatSemi aanbevolen standaard-schakeling rond het IC is, voor één kanaal, getekend in figuur 5/5.10-18.

Via de dioden naar de pennen 3 en 18 kan men de Dolby-werking in- of uitschakelen.

In het kort een overzichtje van de specificaties van de LM 1131:

5.10 Systemen voor ruisonderdrukking



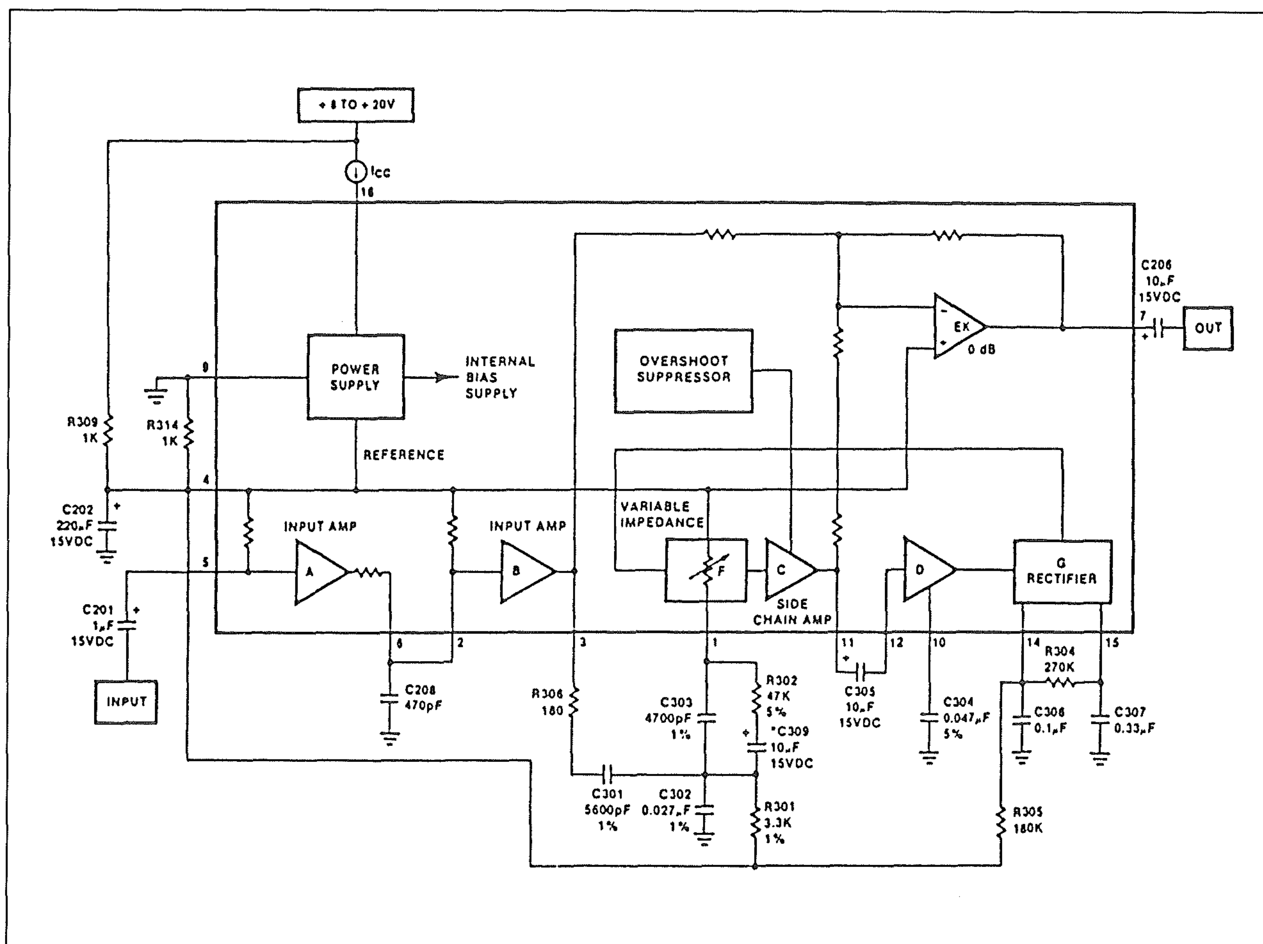
Figuur 5/5.10-18: Het standaard-schema rond de LM 1131.

- voedingsspanning: 5 tot 20 V
- voedingsstroom: 20 mA max.
- spanningsversterkingen:
  pennen 7-10, 14-11: 19,7 dB typisch
  pennen 10-9, 11-12: 0 dB typisch
- vervorming:
  0,2 % max.
  0,03 % typisch
- signaal/ruis-verhouding:
  record mode: 82 dB typisch
  playback mode: 92 dB typisch
- frequentieweergave record mode:
  1,3 kHz, -20 dB: -15,7 dB
  3 kHz, -30 dB: -21,2 dB
  5 kHz, -20 dB: -16,8 dB
  5 kHz, -30 dB: -21,8 dB
  10 kHz, -40 dB: - 29,6 dB
- ingangs-impedantie:
  pen 7, 14: 65 kΩ typisch
- uitgangs-impedanties:
  pen 9, 12: 30 Ω typisch
  pen 10, 11: 30 Ω typisch

De NE 650
Ook Philips heeft, dank zij Amerikaans dochterbedrijf Signetics, enige Dolby-IC's op de markt gebracht. De meest toegepaste is de NE 650, een mono ruisprocessor die zowel toegepast kan worden voor Dolby-B als voor Dolby-C. Het intern blokschema, de aansluitgegevens en de standaard-schakeling voor Dolby-B van dit IC zijn samengevat in figuur 5/5.10-19.

De NE 650 heeft de onderstaande specificaties:
- voedingsspanning: 8 tot 20 V
- voedingsstroom: 24 mA max.
- spanningsversterkingen:
  pennen 5-3: 26 dB typisch
  pennen 3-7: 0 dB typisch
  pennen 2-3: 13 dB typisch

5.10 Systemen voor ruisonderdrukking



Figuur 5/5.10-19: Samenvatting van alle relevante gegevens van de NE 650.

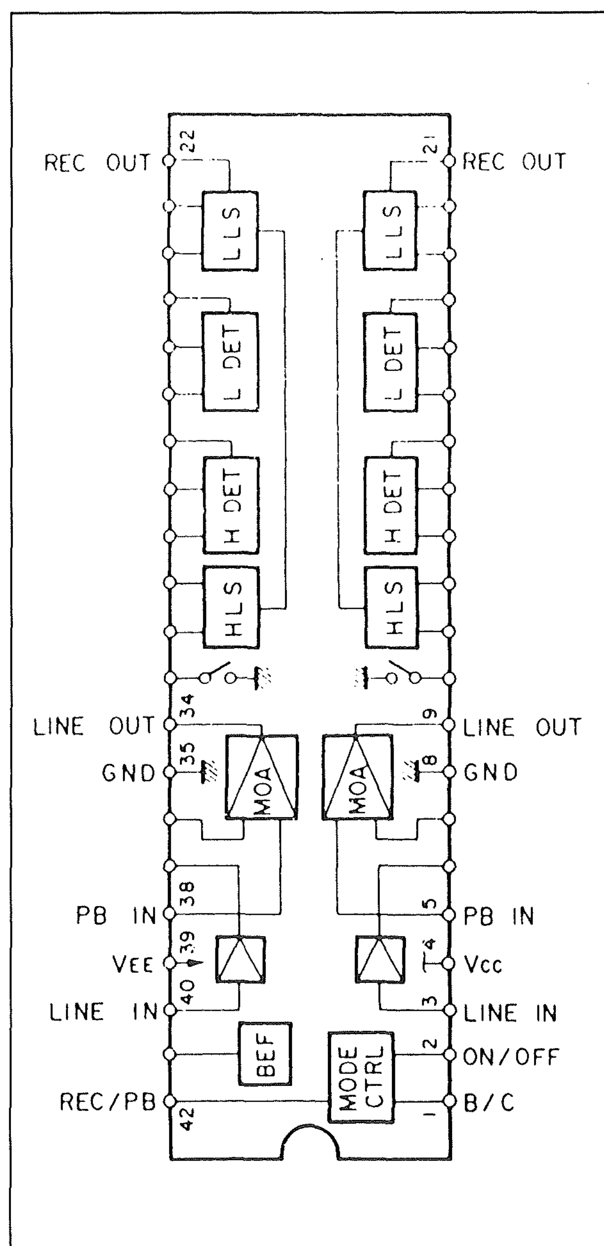
- vervorming (2de + 3de harmonischen):
  0,3 % max.
  0,05 % typisch
- signaal/ruis-verhouding:
  record mode: 72 dB typisch
  playback mode: 82 dB typisch
- frequentieweergave record mode:
  1,4 kHz, 0 dB: 0 dB
  1,4 kHz, -20 dB: -15,6 dB
  1,4 kHz, -30 dB: -22,5 dB
  5 kHz, 0 dB: +0,3 dB
  5 kHz, -20 dB: -16,8 dB
  5 kHz, -30 dB: -21,8 dB
  5 kHz, -40 dB: -29,7 dB
  20 kHz, 0 dB: +0,7 dB
  20 kHz, -20 dB: -17,3 dB
  20 kHz, -30 dB: -23,5 dB
- afwijking bij playback:
  schakeltechnisch: +/-0,5 dB typisch
  temperatuur: +/-0,4 dB typisch
- ingangs-impedanties:
  pen 5: 50 kΩ typisch
  pen 2: 4,2 kΩ typisch
- uitgangs-impedanties:
  pen 6: 2,4 kΩ typisch
  pen 3: 80 Ω typisch
  pen 7: 80 Ω typisch

CX-20187

Uiteraard hebben de Japanners zich de kaas niet van het brood laten eten. In de meeste Japanse apparatuur zal men een Dolby-module aantreffen, met als code

5.10 Systemen voor ruisonderdrukking

F-4960. Basis van deze module is de CX-20187, een stereo Dolby-processor. De aansluitgegevens en het intern blokschema van dit IC zijn samengevat in figuur 5/5.10-20.



Figuur 5/5.10-20: De aansluitgegevens en het intern blokschema van de CX-20187.

Het schema van het F-4960 module is getekend in figuur 5/5.10-21, de componentenopstelling volgt uit figuur 5/5.10-22. De print is dubbelzijdig, de kleine condensatoren en weerstanden zijn onder de vorm van SMD-componenten op de ene zijde aangebracht, de grotere onderdelen bevinden zich als "normale" uitvoering op de andere zijde van de print. De twee ingangssignalen worden aangesloten op de module-pennen d en m. De print levert de bewerkte uitgangssignalen op de pennen c en n.

DNR

Werking

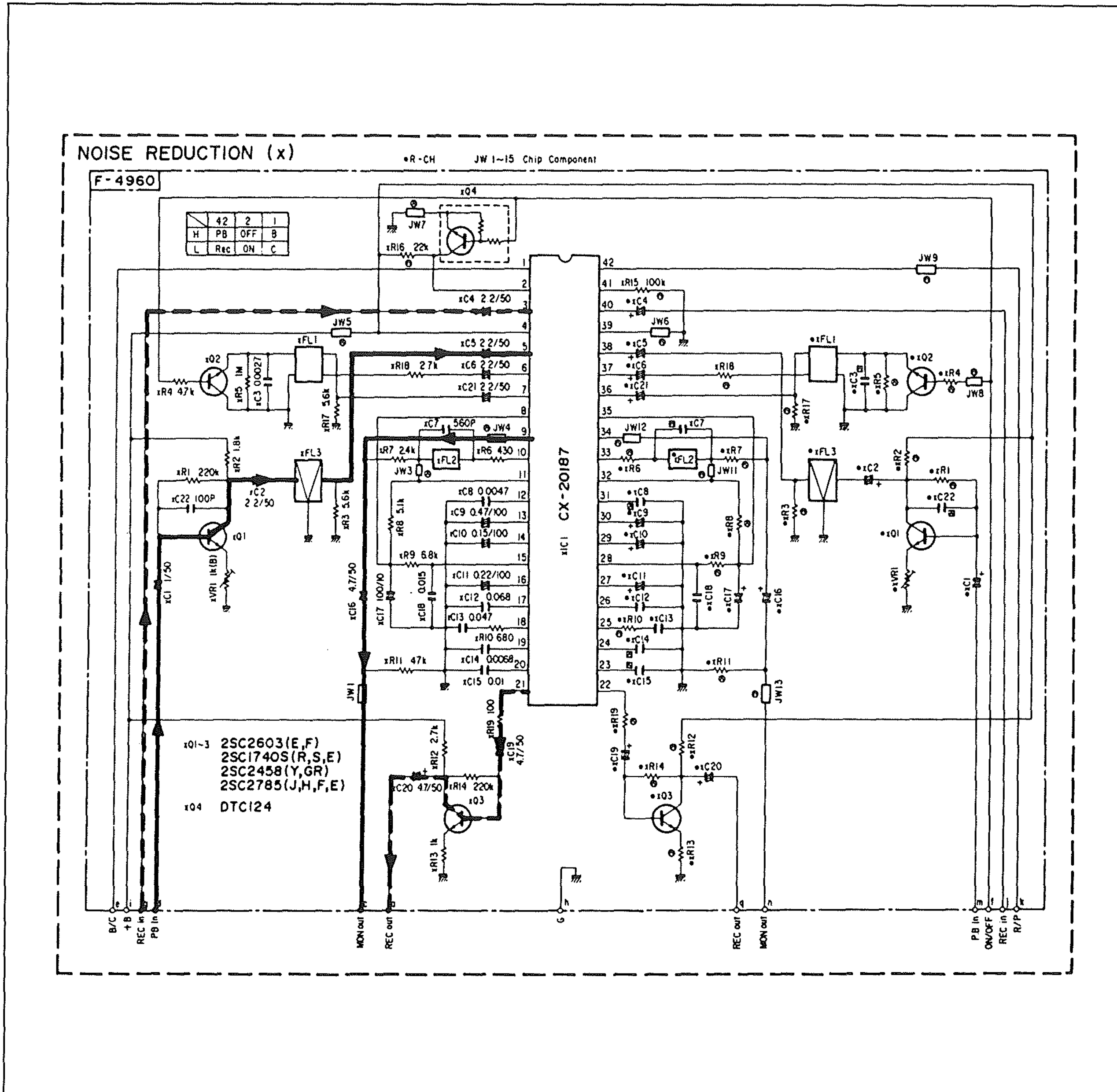
Het "Dynamic Noise Reduction"-systeem is ontworpen door National Semiconductor.

Het is geen echt compander-systeem, omdat het net zoals DNL van Philips alleen werkt bij het weergeven van een bandje. Het blokschema van DNR is getekend in figuur 5/5.10-23.

Het linker en rechter signaal worden bij elkaar opgeteld en naar een hoogdoorlaat filter gevoerd met een steilheid van 12 dB/octaaf en een kantelfrequentie van 6 kHz.

Het uitgangssignaal van dit filter gaat naar de gelijkrichter. De stuurspanning op de uitgang van de gelijkrichter stuurt twee laagdoorlaat filters, waarvan de kantelfrequentie afhankelijk is van de grootte van de stuurspanning. Als de stuurspanning minimaal is, bedraagt de kantelfrequentie van beide filters 800 Hz. Op dat moment is er immers geen hoog in het signaal aanwezig en wordt de storende ruis onderdrukt door de lage kantelfrequentie van de uitgangsfilters.

5.10 Systemen voor ruisonderdrukking



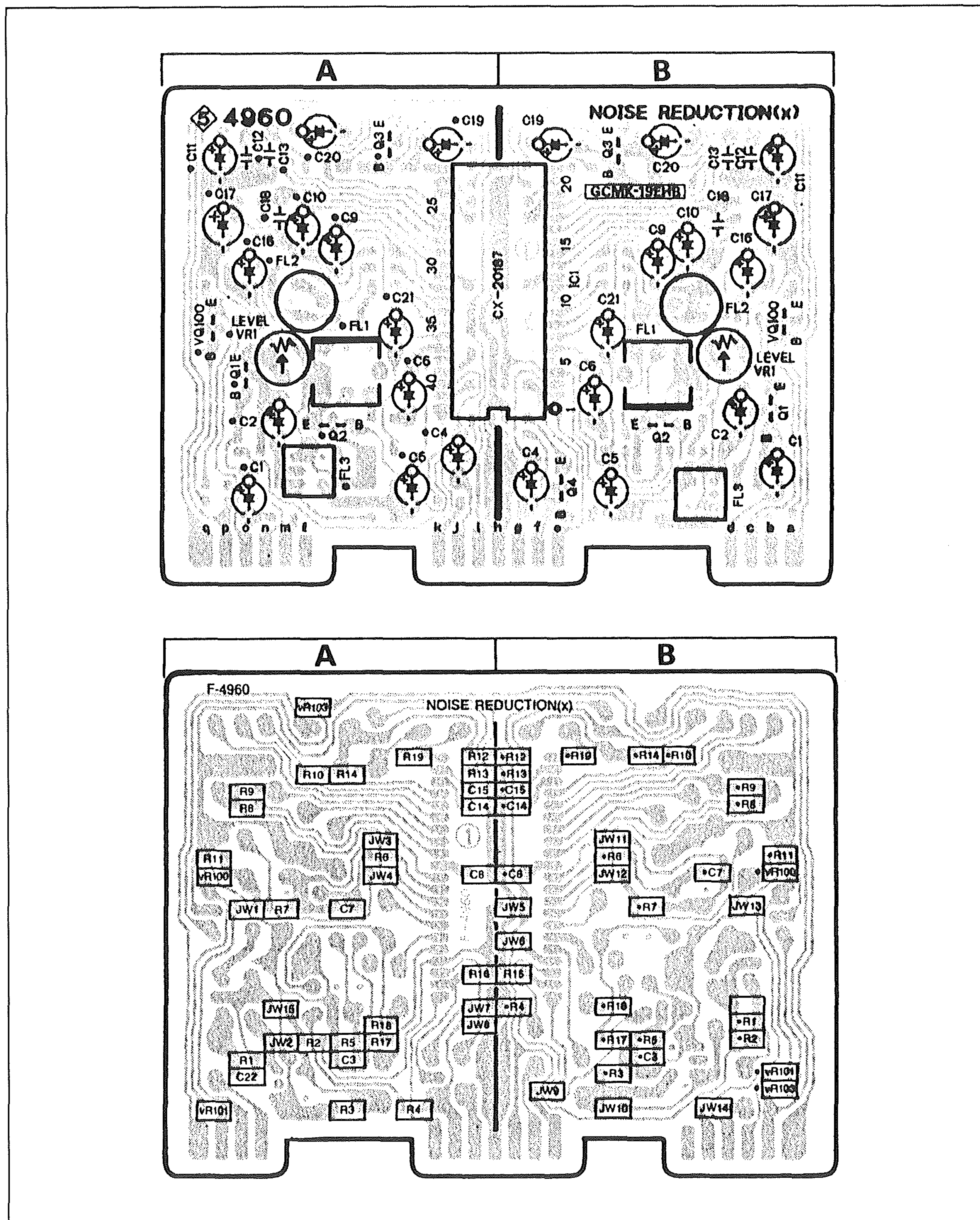
Figuur 5/5.10-21: Het intern schema van het Japanse Dolby-module F-4960.

Naarmate de gelijkrichter meer signaal levert, stijgt de kantelfrequentie van de filters, wordt de ruis minder onderdrukt, maar het hoog in het signaal beter doorgelaten. Daardoor neemt de hoorbare invloed van de ruis af. De verbetering van de S/R-verhouding bedraagt bij DNR ongeveer 14 dB.

National IC's

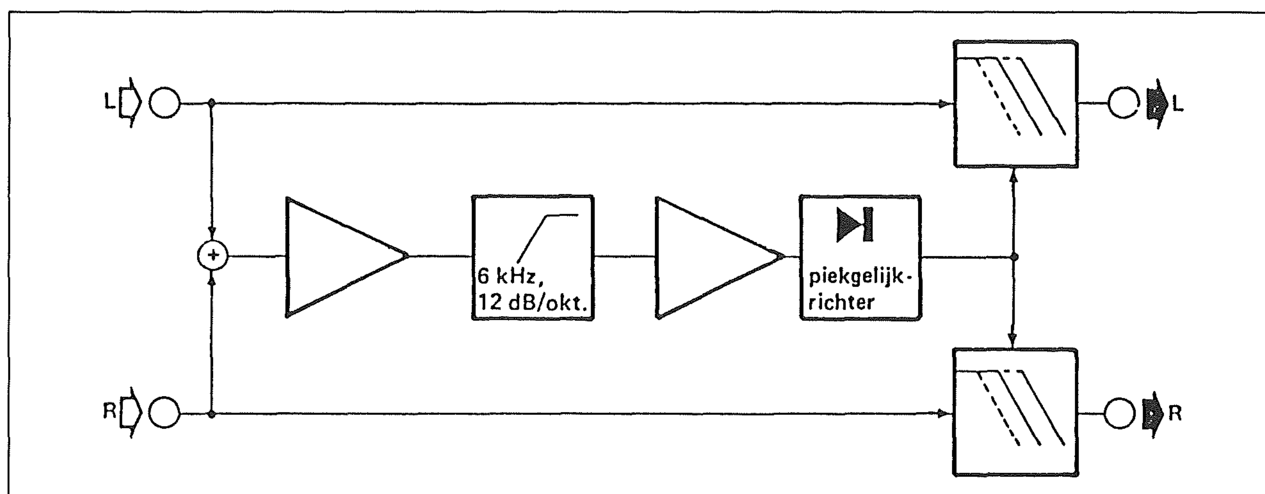
NatSemi heeft uiteraard zélf een aantal IC's voor haar DNR-systeem op de markt gebracht. Naast de oudere LM 832 zal men vaak de LM 1894 aantreffen. Dit is een stereo ruisprocessor, waarvan de aansluitgegevens en het intern schema zijn getekend in figuur 5/5.10-24.

5.10 Systemen voor ruisonderdrukking



Figuur 5/5.10-22: De print lay-out en de onderdelenopstelling van het F-4960 module.

5.10 Systemen voor ruisonderdrukking

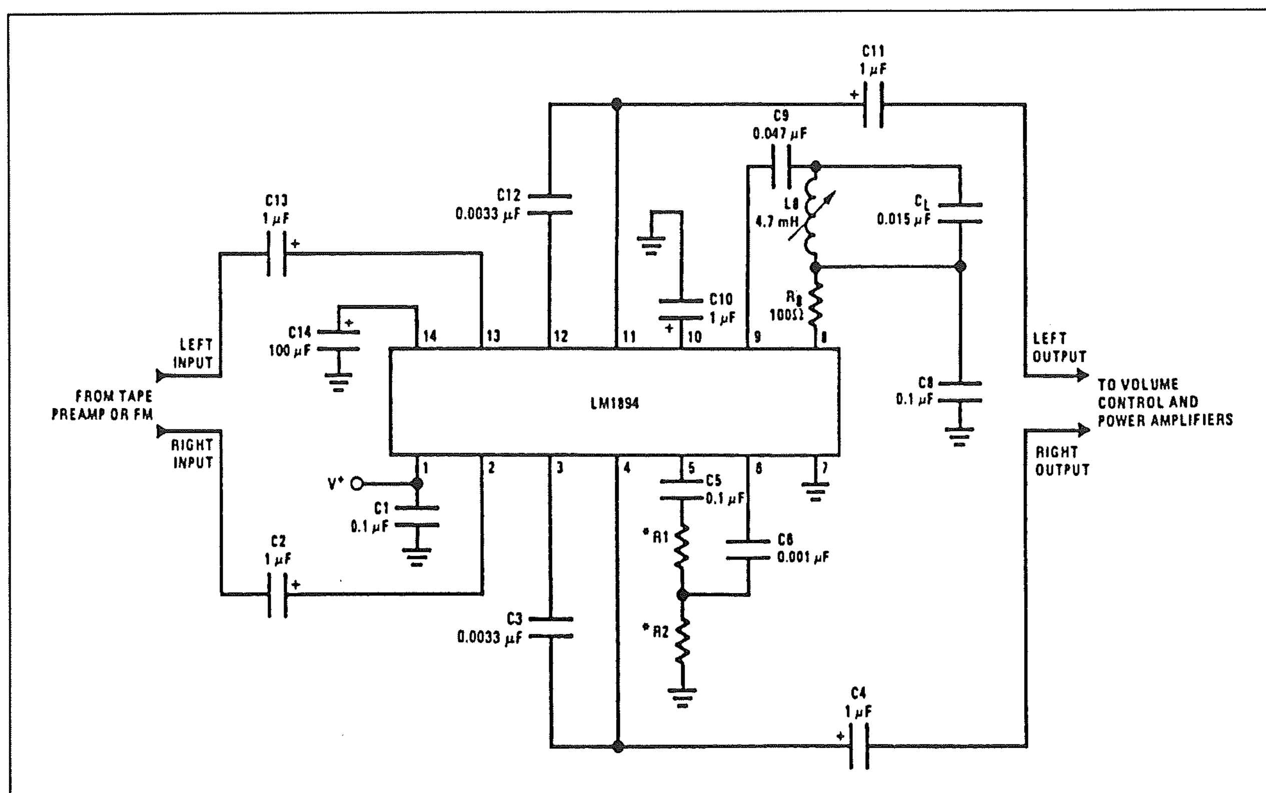


Figuur 5/5.10-23: Het blokschema van het DNR-systeem.

CH2 I_0
CH2 OUTPUT
CH1 OUTPUT
CH1 I_0
V+
12
11
4
3
1
20k
20k
20k
20k
CH2 INPUT 13
OP AMP
OP AMP
gm
gm
2 CH1 INPUT
BYPASS 14
30k
27k
1.2V
A_V = 26
PK DET
Σ AMP
1.2V
700
90
V TO I CONVERTER
5
6
8
9
10
7
Σ AMP OUTPUT
GAIN AMP INPUT
GAIN AMP OUTPUT
PEAK DETECTOR INPUT
PEAK DETECTOR OUTPUT
GND

Figuur 5/5.10-24: Aansluitgegevens en intern blokschema van de LM 1894.

5.10 Systemen voor ruisonderdrukking



Figuur 5/5.10-25: Het door NatSemi voorgestelde schema rond de LM 1894.

Een kort overzicht van de specificaties van de LM 1894:
- voedingsspanning: 4,5 tot 18 V
- voedingsstroom: 30 mA max.
- ingangsspanning: 1 V max.
- ingangsimpedantie: 20 kΩ typisch
- uitgangsspanning: U_b-1,5 V max.
- spanningsversterking: -1 dB typisch
- bandbreedte:
  minimaal 1,4 kHz
  maximaal 46 kHz
- vervorming:
  0,1 % max.
  0,05 % typisch
- signaal/ruis-verhouding: 77 dB typisch
- kanaalscheiding: 70 dB typisch

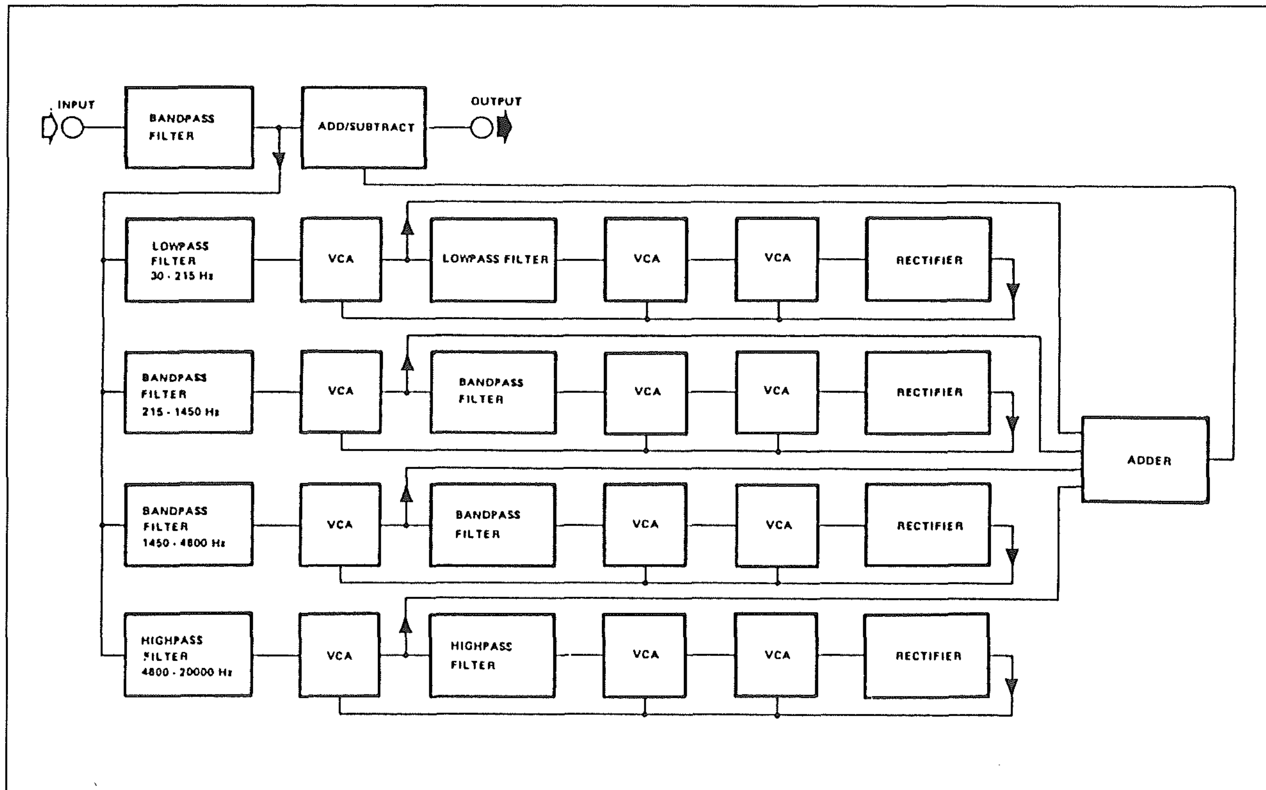
In figuur 5/5.10-25 is het standaard-schema van een DNR-ruislimiter rond de LM 1894 getekend.

TelCom

Principe

TelCom werd door Telefunken ontwikkeld als alternatief voor het professionele Dolby-A systeem. Het is een zeer ingewikkeld compander-systeem, waarvan het blokschema is getekend in figuur 5/5.10-26. Het ingangssignaal wordt weer gesplitst in vier banden die ieder een eigen compander sturen.
De banden hebben echter een heel andere frequentie-inhoud dan bij Dolby-A. Voor de gelijkrichters staan bovendien nog eens filters en VCA's, die tot gevolg hebben dat TelCom veel soepeler reageert op plotselinge niveauverschillen in het signaal dan Dolby-A.

5.10 Systemen voor ruisonderdrukking



Figuur 5/5.10-26: Het blokschema van het TelCom-systeem van Telefunken.

Het zogenoemde "pompen", waarbij men duidelijk hoort dat een compander-systeem in- of uitschakelt, wordt hierdoor in grote mate uitgeschakeld.
De winst in S/R-verhouding bedraagt bij TelCom ongeveer 25 dB.
Het TelCom systeem is nooit voor niet-professioneel gebruik op de markt gebracht.

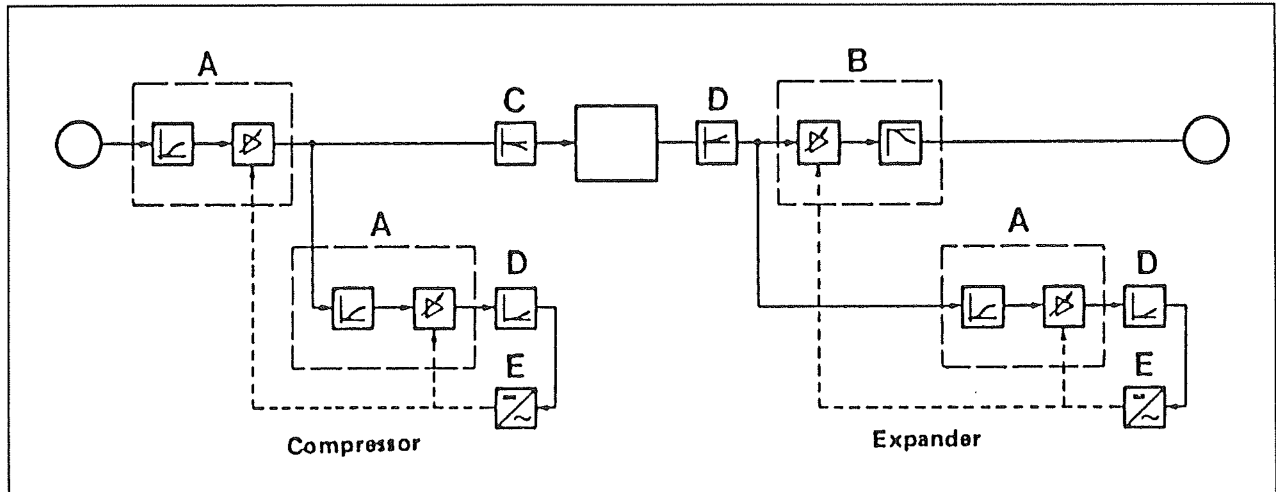
HighCom

Principe
Ook dit systeem werd door Telefunken ontwikkeld. Het kan beschouwd worden als een vereenvoudigde versie van TelCom en is op de markt gebracht als concurrent van Dolby-C. HighCom is een breedband-compander, die werkt over het gehele frequentiespectrum. Het HighCom-systeem werd en wordt toegepast in Duitse consumer-apparatuur van de betere klasse, zoals de Telefunken TC 750 of de Telefunken RC 200 cassettespelers.

Het blokschema van het HighCom-systeem is voorgesteld in figuur 5/5.10-27. Twee compander-systemen zijn in cascade geschakeld. Iedere compander is voorzien van een hoogdoorlaat filter, waardoor de compressie afhankelijk wordt van de frequentie en wel in drie banden:
- tussen 50 Hz en 1 kHz;
- tussen 1 kHz en 10 kHz;
- groter dan 10 kHz.

De blokken C en D stellen de- en pre-emphasis filters voor, die een extra aanpassing aan de frequentie-karakteristiek van het medium verzorgen.

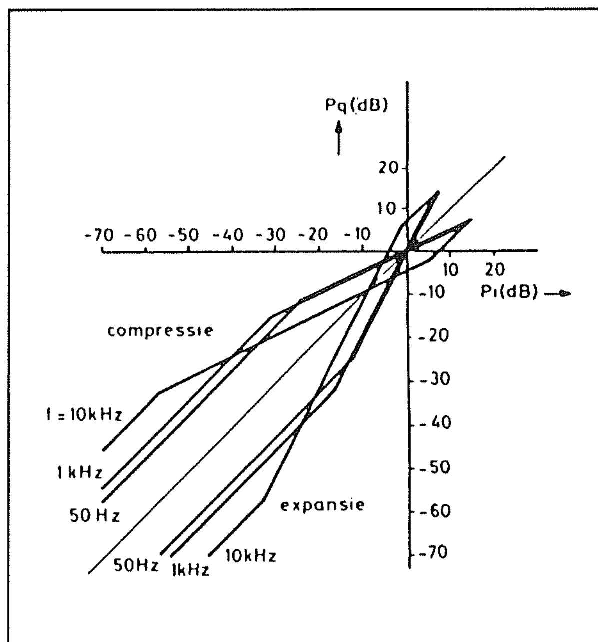
5.10 Systemen voor ruisonderdrukking



Figuur 5/5.10-27: Het blokschema van het HighCom-systeem van Telefunken.

Specificaties

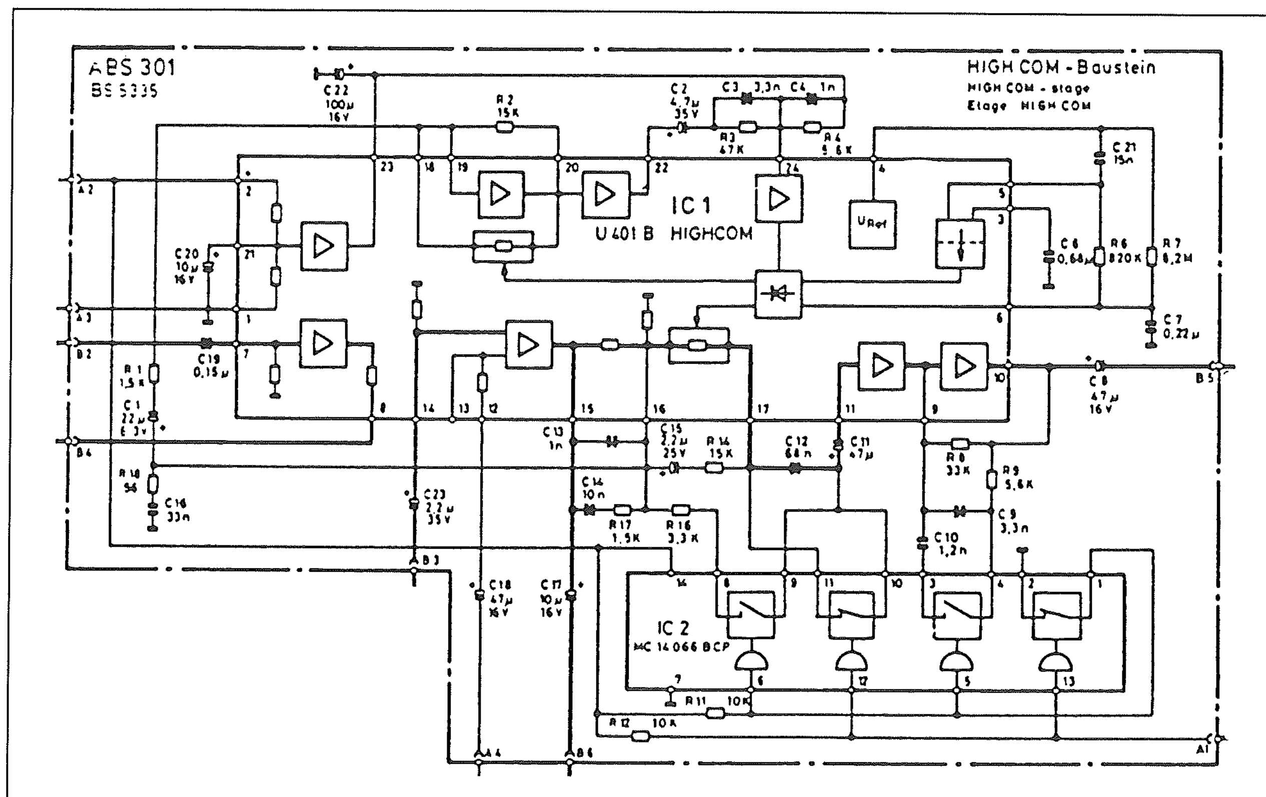
HighCom biedt een verbetering van de S/R-verhouding van ongeveer 20 dB. In principe heeft dit Telefunken-systeem dus de beste ruisonderdrukkende eigenschappen! De compander-karakteristiek is getekend in figuur 5/5.10-28.



Figuur 5/5.10-28: De compander-karakteristiek van het HighCom-systeem van Telefunken.

HighCom-module van Telefunken

Telefunken is de enige fabrikant die een HighCom-IC op de markt brengt. Hoewel, deze U 401B wordt alleen geleverd aan fabrikanten. Zelfs service-centra hebben problemen met de verkrijgbaarheid. Telefunken heeft dit IC verwerkt in een module, de ABS 301. Dit module is uiteraard wél leverbaar. Het is een monoschakeling, waarbij uiteraard de U 401B wordt gebruikt voor het uitvoeren van de signaalbewerkingen en een CMOS-schakelaar 4066 voor het in- en uitschakelen van de functies. Het intern schema van deze module is getekend in figuur 5/5.10-29. Via de besturingsingang A1 kan men de werking van de module omschakelen tussen HighCom of DNR. Bij HighCom bedraagt de spanning op dit punt 17,3 V, bij DNR 0 V. De voedingsspanning van 17,3 V wordt aangesloten op ingang A2, terwijl de massa A3 is. Het signaal wordt aangeboden op pen B2. Tussen B4 en B3 wordt een dubbel LC-filter opgenomen, afgestemd op respectievelijk 85 kHz en 19 kHz. Dit laatste filter is noodzakelijk voor het onderdrukken van de piloottoon bij het weergeven en opnemen van stereo-FM uitzendingen.



Figuur 5/5.10-29: De HighCom-module ABS 301 van Telefunken.

Het bewerkte signaal wordt afgenomen van pen B5. Tussen de pennen A4 en B6 wordt een omschakelbaar terugkoppel netwerkje opgenomen, waarvan de functie niet duidelijk omschreven is.

DBX

Principe

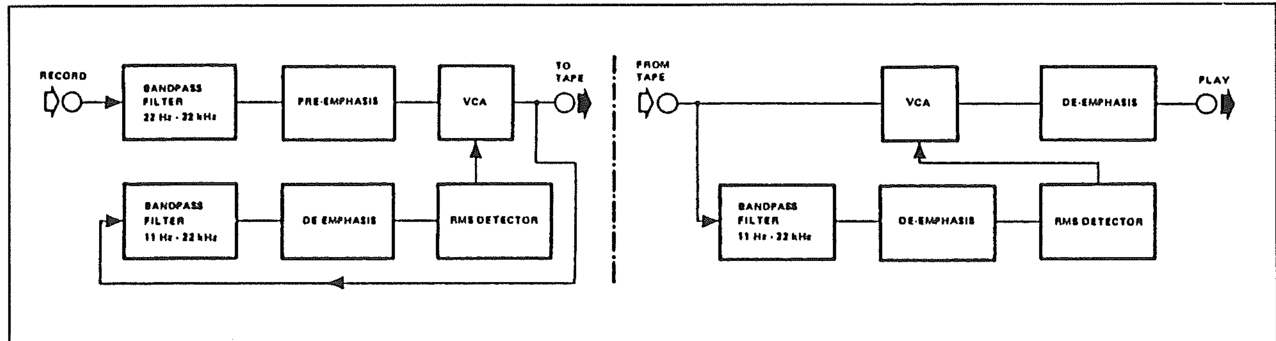
Het Japanse DBX-systeem, genoemd naar het in de professionele audio-techniek bekende begrip dB_x (decibels above reference coupling) wordt voornamelijk bij professionele en prijzige consumer-apparatuur toegepast. Het systeem werk breedbandig en lineair. Het blokschema is getekend in figuur 5/5.10-30.

Na een banddoorlaat filter, dat alle niet tot het audio-spectrum horende signalen uitfiltert, gaat het ingangssignaal door een pre-emphasis. Het hoog wordt hier met ongeveer 12 dB versterkt. Nadien volgt de bekende cel met regelbare weerstand (VCA) en de terugkoppeling met filter, de-emphasis en gelijkrichter. Het gebruik van de pre- en de-emphasis filters bij dit systeem is verantwoordelijk voor de vrij grote ruisreductie van 30 dB.

Een DBX-module

DBX-systemen zal men hoofdzakelijk aantreffen in Japanse apparatuur. In cassettedeck's van Technics wordt vaak gebruik gemaakt van een gecombineerde module, waarmee men zowel volgens het DBX- als volgens het Dolby-systeem ruis kan onderdrukken. Het intern schema van deze module is getekend in figuur 5/5.10-31. De DBX-unit is samengesteld rond een DBX-processor van het type AN 6291.

5.10 Systemen voor ruisonderdrukking

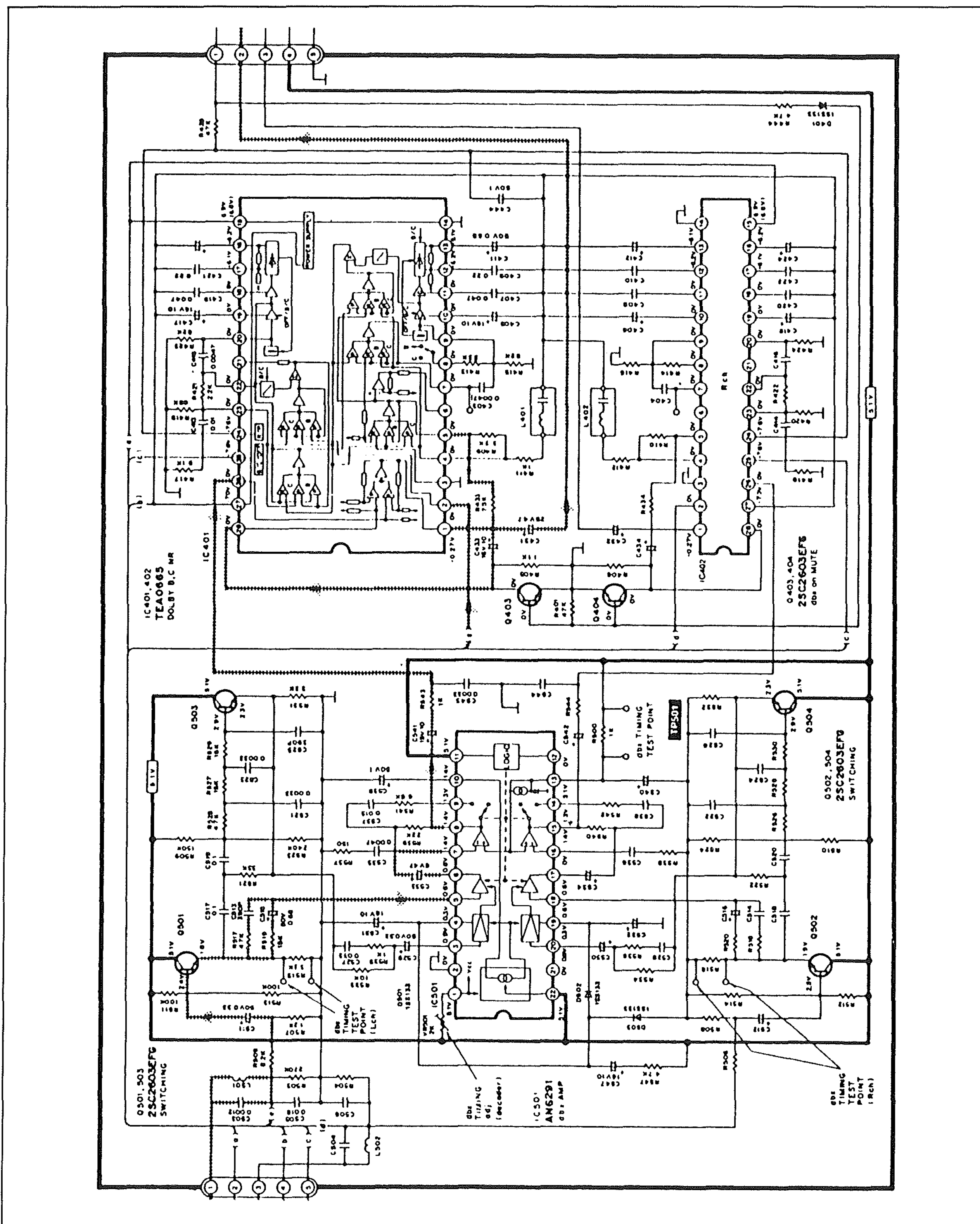


Figuur 5/5.10-30: Het principe van het Japanse DBX-systeem.

Dit is een stereo-IC dat nogal wat externe elektronica nodig heeft. Voor de Dolby-processing wordt een beroep gedaan op twee mono-processors van het type TEA 0665. De ingangssignalen worden aangeboden aan de pennen 1 en 2 van de ingangsconnector, de uitgangssignalen staan op de pennen 2 en 3 van de uitgangsconnector.

Tussen de pennen 2 en 4 van de ingangsconnector wordt de symmetrische voeding geschakeld. Het pad van het linker kanaal door de schakeling is aangegeven met een vette puntjes lijn.

5.10 Systemen voor ruisonderdrukking



Figuur 5/5.10-31: De gecombineerde DBX/Dolby-module die in Technics apparatuur wordt toegepast.